Rechnen mit Maschinen

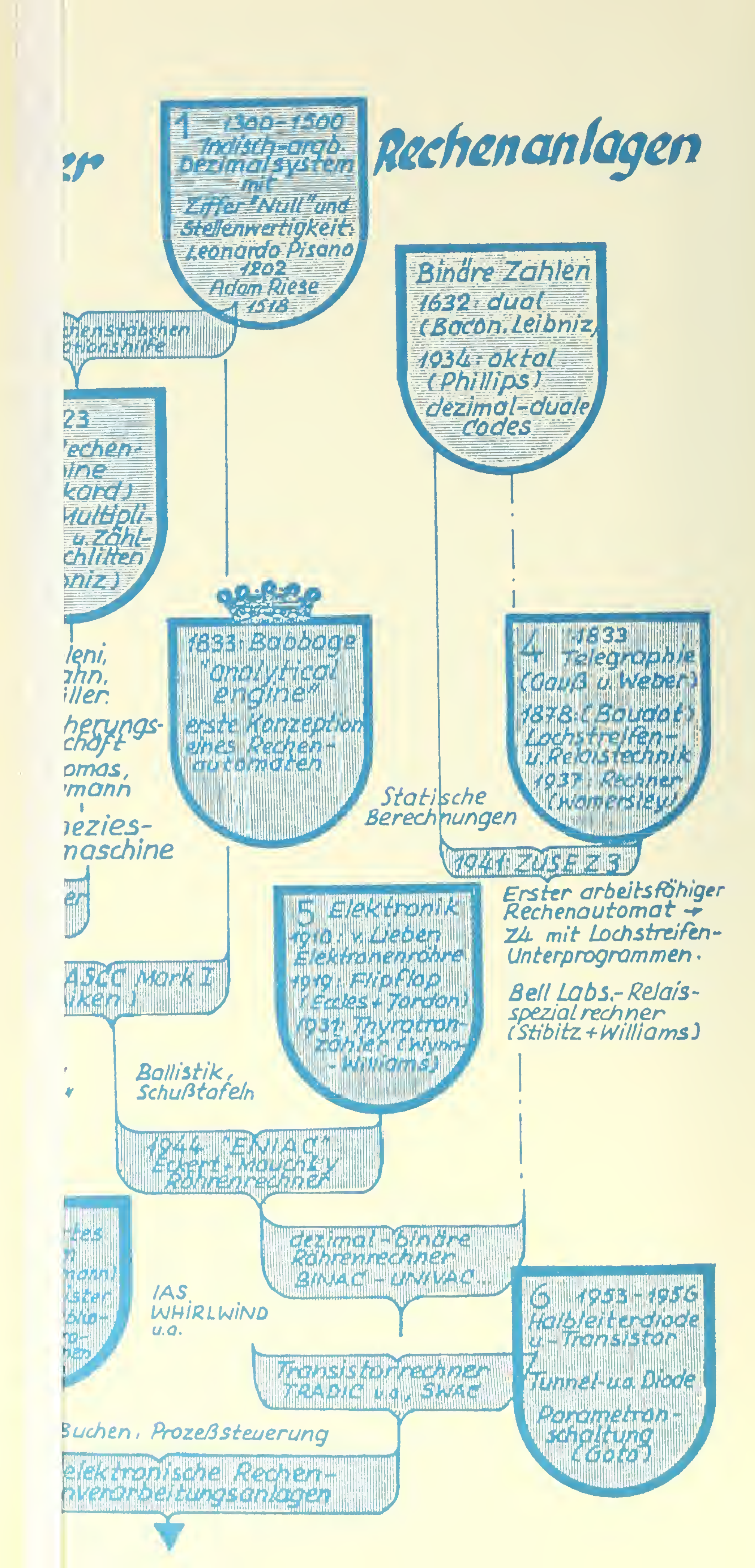
W. de Beauclair

Eine Bildgeschichte der Rechentechnik

Vieweg

Auf 300 Seiten und in 565 meist großformatigen Abbildungen wird hier die geschichtliche Entwicklung der Rechentechnik, das heißt der Rechenmaschinen und der programmgesteuerten digitalen Rechen- und Datenverarbeitungsanlagen beschrieben und anschaulich vor Augen geführt.

Die einfachen Hilfsmittel, der Abakus der Römer und die Rechenpfennige des Mittelalters bilden den Anfang. Von den eigentlichen Rechenmaschinen, die zu bauen erst nach Einführung des Dezimalsystems möglich wurde, werden die ersten, meist auch kunsthandwerklich beachtenswerten Modelle gezeigt und die ihren Rechengetrieben zugrunde liegenden Bauprinzipien erläutert. Die späteren und modernen Konstruktionen sind mit den wichtigsten Mustern vorgeführt. Der Hauptteil des Buches mit 300 Seiten aber ist den vielfältigen Entwicklungsarbeiten für automatische Rechen- und Datenverarbeitungsanlagen gewidmet. Vom Urbeginn der Programmsteuerung, der Lochkartenfolge des Jacquard-Webstuhls an bis hin zu den Lochkarten- und Lochstreifengeräten und bis zur Fernschreibtechnik werden die technischen Voraussetzungen für die Konstruktion von automatischen Rechenanlagen in mechanischer und Relais-Bauweise ausführlich beschrieben. Der Übergang zu den Elektronenrechnern durch Verwendung von Elektronenröhren in der ersten, dann von Halbleiter-Bauelementen in der zweiten Generation wird in einer Vielzahl von instruktiven Abbildungen gezeigt, während natürlich von den vielen modernen Rechenanlagen nur einige charakteristische Ansichten aufgenommen werden konnten — denn das Werk will weder Typenliste noch Einkaufsführer sein, sondern eine Bildgeschichte der Rechentechnik. Um diesen technisch-historischen Überblick vollständig zu machen, wurde besonderer Wert darauf gelegt, auch die Entwicklung der Bauelemente bis zur heutigen Miniaturtechnik sowie der Verfahren zu deren Zusammenbau zu Gruppen und ganzen Maschinenschaltungen darzustellen. Abschließend und ergänzend sind die mannigfaltigen, unerläßlichen Zusatzgeräte zur Eingabe der Daten, zum Abtasten von Lochkarten und -streifen, zum Lesen von gedruckten und beschriebenen Belegen, zum Speichern der Daten und Programme und zum Ausgeben der Ergebnisse ausführlich erläutert und abgebildet.



Gordon Bell



W. de Beauclair

Rechnen mit Maschinen

Eine Bildgeschichte der Rechentechnik

W. de Beauclair

unter Mitwirkung von H. Hauck

Rechnen mit Maschinen

Eine Bildgeschichte der Rechentechnik

Mit 565 Bildern



Friedr. Vieweg & Sohn · Braunschweig

1968

Library of Congress Catalog Card No. 68—8374

Satz und Druck: Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig

Buchbinder: S. Büge, Celle

Schutzumschlaggestaltung und Layout des Textteils: Heinz Hübner, Braunschweig

Printed in Germany

Bestell-Nummer 8246

Geleitwort

Die Datenverarbeitungsanlagen gehören wohl zu denjenigen technischen Gebilden, die sich in der letzten Generation am auffälligsten entwickelt haben. Die einzelnen Schritte folgten sehr schnell aufeinander, und noch immer ist die Entwicklung in vollem Fluß. Gerade aus diesem Grund werden aber auch Anlagen und Bauweisen, die vor einigen Jahren modern waren, sehr bald zu historischen Konstruktionen. Selbst den an der Entwicklung eng Beteiligten geht der Kontakt mit den ersten Stadien dieser Technik bald verloren. Um so mehr ist es zu begrüßen, daß der Verfasser des vorliegenden Bandes mit emsigem Fleiß und großer Sachkenntnis ein umfassendes Bild der historischen Entwicklung der Rechentechnik gegeben hat. Er ist hierzu besonders berufen, da er selbst bereits vor und während des zweiten Weltkrieges am Institut für Praktische Mathematik in Darmstadt an den Problemen arbeitete und sich somit selbst zur Generation der Pioniere rechnen darf.

Gerade aus der Sicht des Pioniers selbst ist es ja besonders interessant, nach Jahren hinter den bislang geschlossenen Vorhang zu blicken und zu verfolgen, wie ähnliche Ideen an verschiedenen Stellen zu bemerkenswerten Lösungen führten.

Der Verfasser betont, daß er diesen Band als eine erste Ausgabe betrachtet und daß er es begrüßen würde, wenn ihm von recht vielen Beteiligten, insbesondere von der einschlägigen Industrie, noch ausführlicheres Bild- und Daten-Material zur Verfügung gestellt werden könnte, um die Darstellung möglichst zu vervollständigen.

Konrad Zuse

Vorwort

In wenigen Arbeitsgebieten wird die technische Entwicklung heute so schnell vorwärtsgetrieben wie in dem der Rechentechnik; vieles was noch vor wenigen Jahren mit großer Kunst erdacht, entworfen und gebaut, mit Stolz gezeigt und mit bestem Erfolg in Betrieb genommen wurde, ist in kurzer Frist überholt, weggestellt und bald vergessen worden. Aber auch die ersten Ursprünge sind oftmals nicht mehr bekannt, weil sie lange zurückliegen und damals kein allgemeines Interesse fanden. Daher erscheint es nicht ungerechtfertigt, den historischen Werdegang der Rechentechnik festzuhalten und die wichtigsten Marksteine der Entwicklung im Bilde aufzuzeigen. Manches Meisterstück alter Handwerkskunst kann auch heute noch nur mit Bewunderung für die vielleicht intuitive schöpferische Leistung frühen Erfindergeistes angesehen werden, und wird immer ein Beispiel für glückliche Planung und Gestaltung im Rahmen der vorliegenden technischen Möglichkeiten bleiben; manches andere Gerät erläutert besser als lange Theorie die Grundprinzipien der technischen Realisierung abstrakter Rechenvorgänge.

Die weiter zurückliegende und langsamer abgelaufene Historie der mechanischen Rechenmaschinen liegt dank der bereits erarbeiteten zusammenfassenden Berichte zum Teil klar im Licht der Geschichte, obgleich auch da noch offene Zusammenhänge zu verknüpfen bleiben; die Schnelligkeit und Vielschichtigkeit der Entwicklung in den letzten Jahren bringt jedoch mit sich, daß hier eine Darstellung der Geschehensfolge recht schwierig wird. Überdies bringt die weltweite Zusammenarbeit der Wissenschaftler und Konstrukteure und die frühzeitige Veröffentlichung ihrer Pläne, Arbeiten und Erfolge eine derart enge Vermaschung, daß oftmals keine eindeutige Entwicklungslinie mehr gefunden werden kann, und daß die vielen Einzelveröffentlichungen sich gelegentlich zu widersprechen scheinen. Es liegt aber nicht im Bestreben des Verfassers, den vielen bereits veröffentlichten Berichten über die Entwicklung der Rechentechnik eine weitere Zusammenstellung beizufügen; wer eingehende Unterrichtung sucht, findet sie in der Literatur, die bis 1966 in den „Titellisten" (Titel von Veröffentlichungen über Analog- und Ziffernrechner und ihre Anwendungen, herausgegeben von der Deutschen

Forschungsgemeinschaft bei Franz Steiner Verlag, Wiesbaden) erschöpfend angeführt ist. Wichtiger erschien, eine Lücke im Schrifttum zu schließen und die Rechengeräte und -anlagen und deren Bauelemente im Bilde zu zeigen, wozu nur wenig vermittelnder Text und erläuternde Unterschriften beizufügen wären.

Der in diesem Buch in Bildern festgehaltene Geschichtsablauf behandelt vornehmlich die Rechentechnik und mündet erst zum Schluß in die Technik der Informationsverarbeitung ein, obschon erstere vom heutigen Standpunkt aus nur ein Teilgebiet der zweiten ist. Nun hat aber der Zwang zu Rechnen — eine mühsame und fehleranfällige aber keineswegs hochgeistige Routinetätigkeit — den Erfindergeist des Menschen viel früher und heftiger bedrängt als die heute gebieterisch werdende Notwendigkeit, auch andere „Datenverarbeitungs"-Aufgaben zu mechanisieren oder gar zu automatisieren. Dem gestiegenen Produktionseffekt in Werkstatt und Betrieb steht noch kein annähernd vergleichbarer Anstieg der Wirkungsgrade in Verwaltung und Behörde gegenüber, so daß heute gerade umgekehrt wie früher viel mehr Menschen „unproduktiv" verwalten als „produktiv" Werte schaffen. Nur die Technik der elektronischen Informationsverarbeitung kann zu einer Besserung dieses Verhältnisses verhelfen, natürlich nur in Verbindung mit einer automationsgerechten Umwertung der bisher als „geistige" Arbeit unbegründet von jeder Rationalisierungsmaßnahme ausgeschlossenen Routinetätigkeiten. Da also die informationsverarbeitenden Anlagen bald sehr große Teilbereiche der menschlichen Arbeiten übernehmen werden und damit auch in den Blickwinkel der breiteren Öffentlichkeit treten werden, die sich mit der notwendig werdenden Ausrichtung auf automatisierte Abläufe vertraut machen muß — man denke an die Einführung der maschinell lesbaren Buchungszahlen auf Zahlungsbelegen und der Postleitzahlen für die Steuerung der Briefverteilmaschinen —, ist es nützlich, Entstehen und Anfangsgründe, Wachstum und Ausbreitung, und schließlich Stand und Realisierung der Rechen- und Datenverarbeitungstechnik zu kennen, um mit dem Sinn auch die Erscheinung und die kommende Entwicklung aus der Geschichte heraus zu verstehen und auch lenken zu können.

Der hiermit nach bestem, aber begrenzten Vermögen zusammengestellte Bildband zur Geschichte der Rechentechnik versucht, die wichtigsten Ergebnisse der Entwicklungsarbeiten wiederzugeben; daher wird mehr Wert gelegt auf die vielerlei Versuche zur Lösung der Aufgabe, mit technischen Mitteln zu rechnen und — neuerdings — Daten zu verarbeiten, als auf lückenloses Erwähnen und Abbilden aller ausgeführten Rechenanlagen. Die äußere Gestalt soll dabei zurücktreten gegenüber der inneren Ausführung, da sie ohnehin, heute mehr nach modischen als nach technischen Gesichtspunkten entworfen, keine wesentlichen Unterschiede mehr zeigt.

Die Abbildungen und Erläuterungen beziehen sich zumeist auf deutsche und amerikanische Arbeiten; auch der britische Beitrag ist seiner Bedeutung entsprechend und dank der vorhandenen Literatur ausführlich gewürdigt. Die Entwicklungen in anderen Ländern konnten leider nur weniger eingehend dargestellt werden, obschon in Frankreich und anderen, ebenfalls mathematisch-konstruktiv leistungsfähigen Ländern von Mitteleuropa bis Ostasien wesentliche Beiträge zur Entwicklung der Rechentechnik oder wenigstens interessante Ausführungen beigesteuert wurden. Es ist zu hoffen, daß die in diesem Punkt berechtigte Kritik an diesem Versuch zu einer umfassenden geschichtlichen Wiedergabe dazu führt, daß die wichtigsten Daten und Abbildungen für eine spätere Erweiterung des Buches zusammenfließen werden.

An dieser Stelle ist nicht Platz, alle die Freunde, Firmen und Institutionen einzeln aufzuführen, die es durch ihre dankenswerte Mithilfe ermöglichten, das Bildmaterial zu sammeln, aus dem das hier wiedergegebene ein zweckmäßig erscheinender Auszug ist. Grundstock der Arbeit war neben dem privaten Archiv des Verfassers, das auf die eigene Entwicklungstätigkeit seit dem Jahre 1939 zurückgeht, vor allem das Bildarchiv des Instituts für Praktische Mathematik der Technischen Hochschule Darmstadt, dessen Leiter, Herr Prof. Dr. h. c. Dr. A. Walther †, der nicht nur damals, sondern bis zu seinen letzten Tagen den Verfasser mit Anleitung, Rat und Hilfe unterstützte, und dem ganz besonderer Dank gilt. Dem Mitautor gebührt Dank vor allem dafür, dieses Archiv ausgewertet und viele Daten zusammengestellt zu haben. Weiteres Bildmaterial entstammt verschiedenen Museen und Sammlungen, so dem Brunsviga-Museum in Braunschweig und dem Deutschen Museum in München vor allem in bezug auf mechanische Rechenmaschinen, dem Science Museum in London und dem Technischen Museum in Wien in bezug auf frühe Rechenautomaten und Lochkartenmaschinen. Auch viele der Institute und Firmen, die in neuerer Zeit die Entwicklung elektromechanischer und elektronischer Rechenanlagen betrieben, haben ihrerseits in äußerst großzügiger und dankenswerter Weise interessante Fotos aus ihren Archiven beigesteuert.

Niemand kann wagen, ein derartiges Unterfangen lückenlos und fehlerfrei vollenden zu wollen; dies wäre wohl auch weniger sinnvoll als das Typische und Weiterführende deutlich zu machen. Selbst dies ist — zwar beabsichtigt und erstrebt —, sicherlich nicht erreicht worden. Deshalb sei zum Schluß die Bitte um Nachsicht und um Mitteilung des die Lücken schließenden Materials ausgesprochen.

W. de Beauclair

Inhalt



Einführung

Information und Informationsverarbeitung

Informationen sind nicht nur die Mitteilungen der Presseagenturen, sondern in dem hier betrachteten Sinn alles, was dem Menschen Nachrichten über seine Umwelt vermittelt, in welcher Form das auch immer erfolge.

Biologisch gesehen sind also Informationen in allen Sinneseindrücken, vor allem in Sprache, Ton und Geste, enthalten. Im technischen Bereich sind sie gegeben durch analog-stetig oder auch diskret-inkremental dargestellte Meßwerte; sie können numerisch Zählwerte, Nummern und Beträge in einem der üblichen Zahlensysteme wiedergeben oder schließlich auch alphanumerische, also Text-Angaben enthalten.

Informationsverarbeitung betrifft daher im biologischen Bereich das Erfassen, im Gedächtnis behalten und Zusammenfassen von Sinneseindrücken, das (mehr oder weniger vernünftige, logische) Umsetzen in Verhaltensweisen, Bewegungsvorgänge oder andere Reaktionen, und das Weitergeben umgewerteter Eindrücke oder Gedächtnisinhalte als neue Information in Form von Sprache und Schrift. Technisch gesehen entsprechen diesen Funktionen das Eingeben, Speichern und logische Verknüpfen von Daten in einer programmgesteuerten Anlage, das Umsetzen nach arithmetischen oder logischen Vorschriften und das Ausgeben von Ergebnissen in Form von neuen Datenträgern, in Anzeigevorrichtungen oder direkt zur Steuerung von technischen Vorgängen.

Wegen dieser Parallelität von biologischen und technischen Möglichkeiten zur Nachrichtenverarbeitung hat sich zu Anfang der Entwicklung, im Stadium der ungehemmten Hoffnungsfreudigkeit an der Allmacht der Elektronenrechner, für diese der Werbename der „giant brains" oder der „Elektronengehirne" gebildet; bei näherer Kenntnis der engen Grenzen technischer Nachäffung biologischer Fähigkeiten ist diese Namensgebung erfreulicherweise wieder verschwunden.

Speicherkapazitäten	
Babbage plante	1000 Zahlen zu 50 Stellen
ZUSE Z 4	64 Zahlen zu 32 Bits
ENIAC	72 Zahlen
Magnettrommel	$5 \cdot 10^5$ bis $36 \cdot 10^6$ Bits
Magnetband	10^8 Bits
optische Festspeicher	10^9 Bits
Gehirn etwa	10^{12} Bits

Immerhin ergeben sich aus der überaus fruchtbaren Arbeit von Nachrichtentechnikern, Biologen und Physiologen sehr zukunftsträchtige Ergebnisse, welche sicherlich manche heute noch unübersteigbare Grenze verschieben oder einebnen; der Mensch wird auf viele seiner Routinen (wie Rechnen zu können) weniger stolz sein und sie gern den Maschinen überlassen, falls er dafür seine spezifisch humanen und unnachahmlichen Fähigkeiten intensiver zu entfalten Zeit oder Auftrag hat und gelehrt wird, sie zu nutzen.

Der Wert moderner Informationsverarbeitungsanlagen bekundet sich darin, daß sie die ihnen eingegebenen Daten nach den vorgedachten und eingespeicherten Programmvorschriften mit äußerster Sicherheit und Schnelligkeit verarbeiten; der Arbeitstakt digitaler Anlagen liegt bei einigen Hunderttausenden von Operationen je Sekunde und steigert sich noch weiter. Daher sind sie unübertreffbar für alle Routineaufgaben wie z. B. für das Buchen von Mengen oder Geldwerten, beim Auswerten großer Datenmengen zur medizinischen Diagnose und zur Dokumentation, zur Errechnung von Bahnpunkten nach vorgegebenen mathematischen Formeln auch für die Stetigbahn-Steuerung von Werkzeugmaschinen, und für viele andere Anwendungen.

Die zu verarbeitenden Daten werden den Anlagen entweder direkt — so zur analogen und digitalen Prozeßsteuerung — von den Meßinstrumenten und anderen Informationsquellen geliefert und sogleich umgesetzt oder sie werden zeitlich unabhängig in „Datenträger" eingespeichert, die der Anlage übermittelt und von ihr ausgewertet werden. Solche Datenträger sind heute vorwiegend die Lochkarte und der Lochstreifen, die numerische und alphanumerische Informationen als Lochcode tragen, und die maschinell lesbaren Belege, deren Zifferntypen abgetastet werden.

Zur Genealogie der Rechenanlagen

In kaum einem anderen Fachgebiet der Technik schreitet die Entwicklung so rasch voran wie in dem der elektronischen Datenverarbeitung; der bereits erreichte Stand ist trotz der kurzen Entwicklungszeit von etwa 20 Jahren überraschend hoch: es ist, als müsse hier vieles nachgeholt werden, was lange vernachlässigt und übersehen wurde. Tatsächlich haben die rechnenden Mathematiker sich viel zu lange Zeit hindurch mit Papier und Bleistift begnügen, haben sich Rechenvordrucke und Tabellen anfertigen müssen, um den Gang der einzelnen Rechenschritte bei wiederholten Durchläufen schematisieren zu können: die Rechenmaschinen konnten ja nur die einfachsten arithmetischen Operationen ausführen und bestenfalls mit einem Zweit-Zählwerk Zwischenergebnisse speichern oder aufsummieren. Dann aber entstanden unter dem Druck militärischer Aufgaben die programmierten und daher viele Rechenoperationen in schnellem Fluß selbsttätig abspulenden Rechenautomaten, und die Rechenverfahren konnten endlich auf dieses neue Hilfsmittel ausgerichtet werden. Mathematik und Technik befruchteten sich gegenseitig — schon immer, aber neuerdings besonders erfolgreich — und führten einander weiter zu immer leistungsfähigeren Verfahren und Maschinen, ohne die viele der heutigen technischen Großtaten nicht hätten entstehen können. So waren beispielsweise noch um 1938 viele Rechnermonate an Arbeit nötig, um eine statisch vielfach unbestimmte Konstruktion für die Halle eines geplanten Bahnhofs zu berechnen, also ein Gleichungssystem mit etwa 30 Unbekannten nach numerischen Rechenverfahren, selbst mit Hilfe damals modernster Rechenmaschinen, aufzulösen. Heute benötigt ein gar nicht extrem schneller Elektronenrechner vielleicht 10 Minuten dafür. Diese häufige Aufgabe hat also ihre Schrecken verloren, so daß selbst mehrere Konstruktionsformen probeweise durchgerechnet werden können. Mathematische Vorausrechnung ersetzt die früher übliche Erprobung von Musterkonstruktionen, weil Versuche oft viel zu teuer und zeitraubend wären; mathematisch-statistische Überwachung und Programmsteuerung der Produktion ermöglicht hohe Sicherheit, Zuverlässigkeit und Ausbeute; Versuchsauswertung und Datenverarbeitung mit elektronischen Anlagen holen aus einem kurzen Versuch und vielen Meßwerten alles Verfügbare an Erkenntnissen heraus. Ohne die modernen leistungsfähigen Rechenanlagen wäre vieles Erreichte ein Wunschtraum technischer Phantasie geblieben. Es erscheint daher nicht unbillig, die Entwicklungsgeschichte dieser Rechentechnik und die Wechselwirkungen von mathematischen und instrumentellen Fortschritten aufeinander in kurzen Zügen vor Augen zu führen.

Die heutigen elektronischen Rechen- und Datenverarbeitungsanlagen erwuchsen aus der Arbeit und den Erkenntnissen von Wissenschaftlern und Konstrukteuren der verschiedensten Fachrichtungen. Die Wurzeln reichen, etwas grob dargestellt und doch recht aufschlußreich, bis in die Zeit des beginnenden Welthandels, des Ausbaus der zentralen Staatsgewalt und des naturwissenschaftlichen Strebens — also bis zurück in die Wende vom Mittelalter zur Neuzeit, bis ins 16. Jahrhundert.

(1) Erste Voraussetzung für einfaches Rechnen — ob mit Papier und Bleistift oder mit Maschinen — ist ein geeignetes Zahlensystem. Mit den alten römischen Zahlzeichen geht es nicht. Man benutzte sie auch nur zum Aufschreiben; zum Rechnen diente der „Abakus" oder in den Sand geritzte Rechenlinien und Markiersteinchen. Erst die Ziffer „Null" und die Stellenwertigkeit des indisch-arabischen Zahlensystems erlauben ein streng systematisches Aufschreiben und Rechnen mit Ziffern nach leichten Regeln, erlauben auch ein gleichartiges Zuordnen von 10 Zähnen eines Ziffernrades zu den 10 Ziffern und eine Zehnerübertragung auf die nächst höhere Stelle beim Durchgang von 9 nach 0 beim Addieren. Die neuen Ziffern fanden ab 1202 ihren Weg über das arabisch beherrschte Spanien nach Mitteleuropa und wurden hier sehr langsam aufgenommen; noch 1518 muß Adam Riese für die neue Schreibart werben.

(2) Der Tübinger Professor Wilhelm Schickard fand 1623 bis 1624 als erster das Konstruktionsprinzip Ziffernrad und Zehnerübertragung; er ließ ein Rechengerät bauen, das in dieser Art zum Addieren und Subtrahieren brauchbar war, durch eingebaute drehbare Anzeigewerke für die Teilprodukte des kleinen Einmaleins nach Art der vorher erfundenen Napierschen Rechenstäbchen aber auch zum Multiplizieren dienen konnte. Erst um 1672 entwickelte G. W. Leibniz jedoch den verschieblichen Schlitten zum stellengerechten Zuordnen des Resultatwerks gegenüber dem Einstellwerk und die Staffelwalze als Steuerorgan zum Eindrehen von einstellbar vielen Ziffern-Zähnen in das eigentliche Zählwerk mit Zehnerübertragung und damit die Grundform der mechanischen Rechenmaschine, die bis heute ihre Gültigkeit behielt. Er erkannte aber auch das duale Zahlensystem mit den Binär-Ziffern 0 und 1 als besonders einfach: dieses wird heute bei elektronischen Rechenmaschinen fast ausschließlich benutzt.

Sir Francis Bacon beschreibt bereits 1623 die binäre Verschlüsselung von Buchstaben durch einen fünfstelligen dualen Code, den er in seiner Jugend erfunden habe.

Nach Leibniz wurden noch mehrere Grundgetriebe für mehrfache Addition erfunden: vom Sprossenrad, das Poleni in Padua um 1678 erfand, bis zum Proportionalhebelgetriebe und Schaltklinkenwerk, die anfangs dieses Jahrhunderts von Christel Hamann in Berlin eingeführt wurden. Das alte Grundprinzip der Zehnerübertragung, die stellenweise von rechts nach links durch die Resultatwerk-Stellen hindurchwandert, ist bis heute beibehalten worden, obgleich diese primitive Form sowohl Stellenzahl wie Arbeitsgeschwindigkeit der Rechenmaschine begrenzt. Eine in allen Ziffernstellen gleichzeitig wirkende Schaltung war jedoch in seltenen Ausnahmefällen durchaus lange erprobt und gebaut worden, so von dem genialen Babbage (1833) als erstem, dann in der berühmten Lochkarten-Tabelliermaschine D 11 der deutschen Hollerith-Gesellschaft (1936), der ersten mit Stecktafel-Programm.

(3) Dritte Wurzel der modernen Rechenanlagen ist die Idee der Programmsteuerung. Falcon (1725—28) und Vaucanson (1741) bauten für das Anheben der Kettfäden eines Webstuhles einen ersten Programmspeicher in Gestalt einer umlaufenden Blechwalze mit Lochungen (wie bei den Glockenspielen), um das gewünschte Muster selbsttätig wiederholen zu können. J. M. Jacquard vervollkommnete (1804-08) diese Erfindung mit größtem Erfolg zu einem Lochbandprogramm aus Kartonkarten — eine Bauform, die bis in die jüngste Zeit bei Musikautomaten, den Orchestrions der Jahrmärkte, verwendet wurde. Hieraus entstand das breite Programmband des elektrischen Klaviers, der pneumatischen Schreibautomaten und (ab 1882) auch wohl die Lochkarte, wobei in allen Fällen jedes Loch seine direkte Zuordnung zu einem Ton, Buchstaben oder Ziffernwert hat. Aus Lochkarten- und Rechenmaschinen entstanden dann in den dreißiger Jahren unseres Jahrhunderts die mechanischen Tabelliermaschinen und Lochkartenrechner, die bereits einzelne Züge der selbsttätigen Rechenanlagen vorwegnehmen.

Charles Babbage in London faßt — wohl unbewußt — alle diese bisher einzeln wachsenden Konstruktionsideen zu einer genialen Kombination zusammen: er will 1833 den perfekten Rechenautomaten, die „analytical engine" bauen. Er war damit in Gedanken und Konstruktion seiner Zeit weit voraus; und es erging ihm wie seinerzeit schon Leibniz: die ungenügenden mechanischen Fertigungstechniken verhinderten, daß seine Pläne und Versuche ausreiften, die Maschine arbeitsfähig wurde. Trotzdem ist seine geniale Idee ein Markstein der Entwicklung, denn sie nimmt alles vorweg, was erst rund hundert Jahre später mit vervollkommneten Mitteln realisiert werden konnte und auch erst dann einem wirklichen Bedürf-

nis entsprach. Er konzipiert eine mechanische Rechenmaschine sehr hoher Stellenzahl (daher zwangsläufig mit Simultan-Zehnerschaltung ausgerüstet), eine Lochkarten- bzw. Lochband-Steuerung und -Zifferneingabe, ein großes Speicherwerk (für 1000 Zahlen zu 50 Stellen) für Zwischenergebnisse und als Ausgabewerk ein Druckwerk, das die Ergebnisse auch in Kartonmatern prägen soll, um sie ohne weiteres Umsetzen ausgießen zu können.

Babbage wurde damals verlacht, vergessen; seine Pläne fristeten ein unbeachtetes Zitaten-Dasein in historischen Kapiteln der Fachbücher. Die späteren Erfinder moderner Konstruktionen sahen sich zumeist erst nachträglich durch seine frühen Erkenntnisse bestätigt.

Für seine Zählkarte wählte Dr. Hermann Hollerith die Größe der damaligen 20-Dollarnote, deren Ablagekästen ungeändert Verwendung finden sollten. Sie wurde 1890 zur Erleichterung der Volkszählungen in den USA eingesetzt. Daher wurde zuerst nichts als die Antwort auf die Zählfragen in direktem Schlüssel eingelocht; erst später wurde eine dezimale Ziffernlochung eingebracht. Neben und nach Hollerith bauten Pierce, Gore, Powers u. a. in den USA ähnliche Maschinen; die Wiener k. k. statistische Zentralkommission entwickelte in Europa eigene Konstruktionen, die sich ab 1890 bestens bewährten und bald auch im Ausland (Rußland) eingesetzt wurden.

(4) Bald nach Babbages vergeblicher Bemühung öffnete sich jedoch ein neuer Weg, der schließlich zum Ziel führen sollte; die Elektromechanik der Telegraphentechnik begann ihre Versuche. Gauß und Weber benutzten 1833 den elektrischen Strom und einen Fünfer-Code zur Übertragung von Signalen und legten die erste Telegraphenleitung im kleinen, um die bis dahin einzig bekannte Nachrichtenverbindung durch Semaphoren — optische Signalgeber ähnlich den heute noch verwendeten Eisenbahnsignalen — zu ersetzen. Für die Morsetelegraphie wurde (um 1870) der Lochstreifen mit 2 Spuren (für Punkte und Striche) ausgebildet; später (ab 1878) bauten Baudot, Krum und Kleinschmidt den Springschreiber mit einem binären 5-Impuls-Code und dem 5-Spur-Lochstreifen, der als Telegraphenalphabet CCITT Nr. 2 von Murray bis heute in der Fernschreibtechnik weltweit einheitlich eingeführt ist. Es entstehen die Relais, Schrittschaltwerke und Wähler. Die Elektromechanik ist somit die vierte Wurzel für die Entwicklung von Rechenanlagen: samt einigen Vorstößen zu speziellen Geräten entwarf Konrad Zuse ab 1935 als erster ein programmgesteuertes Rechengerät; 1941 wurde das Modell Z 3 wirklich arbeitsfähig und in Betrieb gesetzt. Es besaß ein Speicherwerk für 64 Zahlen, ein binäres Rechenwerk in Relaistechnik (2000 Relais) und arbeitete intern in rein dualem Zahlensystem mit Gleitkomma, d. h. in halblogarithmischer Rechenweise mit abgespaltener Dezimalpotenz, wie es dem Ingenieur vom Rechenschieber her geläufig ist und womit alle Sorgen um ausreichende Stellenzahlen des Rechners unnötig werden. Er entwickelte auch für sich eine Logik für Relaisschaltungen, seinen „Aussagekalkül"; Shestakov und Shannon veröffentlichten 1938 ihre diesbezüglichen Arbeiten. Zuse ist damit unbestreitbar der Pionier auf dem Gebiet des programmgesteuerten Rechnens; andere Relaisrechner wurden zwar auch ab 1940 in den USA fertiggestellt (von Stibitz und Williams bei Bell Telephone Labs.), aber es waren Spezialrechner für die Feuerleit-Ballistik, die erst einige Jahre später variabel programgesteuert ausgebaut wurden. Ebenso ist der berühmte große „Automatic Sequence Controlled Computer" ASCC oder Mark I von H. A. Aiken in der Havard Universität, der aus dezimal arbeitenden Lochkartenmaschinen-Baugruppen, Lochbandgeräten und anderen mechanischen Einrichtungen zusammengebaut war, zwar äußerst leistungsfähig, aber doch durch die Stecktafeln der einzelnen Baugruppen nur beschränkt programmierbar gewesen.

Zuse ließ wie erwähnt als erster seine Rechengeräte im dualen Zahlensystem arbeiten. Leibniz kannte dieses schon, und war von dessen Einfachheit begeistert; dabei wird diese Zählweise mit nur den Ziffern 0 und 1 erst wirklich wertvoll für die Anwendung aller der Bauweisen von Rechengeräten, deren Schaltorgane per se nur zwei unterscheidbare Zustände oder Lagen einehmen können — so besonders in der Elektrotechnik, wo Schalter, Relaiskontakte oder Schaltröhren nur entweder stromsperrend oder -leitend sein können. Aber auch bei mechanischer Bauweise ist es einfacher, einen Riegel etwa nur nach links oder rechts zu schieben als ihn in eine von 10 definierten Stellungen zu bringen. Zuse baute zunächst solche mechanischen Verriegelungen, die sehr kleine Abmessungen der Geräte erlauben; aber die für das erforderliche variable Zusammenwirken verschiedener Baugruppen einer größeren Anlage erforderlichen Übertragungen der Schaltbewegungen sind mechanisch kaum zu bewältigen. Er ging daher bei der Z 3 zur Relaistechnik über, die durch ihre flexiblen Leitungen den Zusammenbau und die Steuerung erleichtert, behielt aber das raumsparende mechanische Speicherwerk zunächst noch bei, bis es später durch einen Ferritkernspeicher ersetzt wurde.

Etwa gleichzeitig mit Zuse wiesen Valtat (1936) und Couffignal (1938) in Paris auf die Vorteile der Dualtechnik für ein einfaches Rechenwerk hin; andererseits macht sie natürlich ein Umrechnen der notwendigerweise dezimal eingetasteten Zahlen in Dualzahlen erforderlich und fügt so den eigentlichen Rechenschritten einige weitere hinzu. Daher wird sie heute nur noch dort verwendet, wo — wie bei wissenschaftlichen Berechnungsaufgaben — mit relativ wenigen Eingabezahlen viele Rechenabläufe vorzunehmen sind, nicht dagegen bei den mehr kaufmännisch orientierten Datenverarbeitungsanlagen, die sehr viele und schnelle Ein/Ausgabe-Operationen nötig machen.

Mit den binären Ziffern 0 und 1 kann außer dem rein dualen System auch ein dezimales in dualem Code aufgebaut werden; jeder Dezimalziffer ist dabei eine Gruppe von 4 Binärstellen zugeordnet. Beispielsweise ist die Dezimalziffer 6 im bcd-Code als 0110 verschlüsselt. Diese stellenweise Umrechnung ist einfacher als die in rein duale Zahlen, und so arbeiten heute die Mehrzahl der Elektronenrechner in einem der binären Codes für Dezimalziffern.

Einen anderen Vorschlag machte Phillips (um 1936) in London: er propagierte das Rechnen im binären Oktalsystem, d. h. mit den dual verschlüsselten Ziffern 0 bis 7, deren dreistellige Dualcodegruppen leicht zu lernen sind. Der Verzicht auf das Dezimalsystem, auf die Ziffern 8 und 9, schien für nur intern zu verwendende Zahlenergebnisse (wie für wissenschaftliche oder versicherungsmathematische Tabellen) einem nichtdezimal zu denken gewohnten Briten nicht schwerwiegend. Tatsächlich arbeiten einige britische Rechenanlagen in Oktalsystem auch in der Ein/Ausgabe.

Neben binären Schaltelementen sind natürlich auch dreiwertige, ternäre denkbar, z. B. solche, die links, Mitte und rechts, oder positiv, 0 und negativ unterscheiden können. Obschon derartige Schaltungen recht plausibel erscheinen, haben sie sich in der Praxis trotz einiger Versuche nicht einführen können.

Mit Zuses Relaisrechner Z 3 ist eigentlich die hier kurz dargestellte Genealogie der Rechenautomaten in der heutigen Generation angelangt; was seitdem folgte, waren im Grunde nur technische Vervollkommnung und Anwendungen neuerer Bauelemente statt der Relais für das hierin realisierte und weiterhin gültige Prinzip eines programmgesteuerten Rechenautomaten. Immerhin kann auch die weitere Entwicklung in einige markante Schritte unterteilt werden: der erste Schritt oder die 5. Wurzel ist die Technik der Elektronenröhre. 1910 entwickelte R. von Lieben das Steuergitter zwischen Anode und Kathode, 1913 Langmuir die Hochvakuum-Verstärkerröhre.

(5) Die elektronischen Bauelemente der inzwischen herangereiften Nachrichtentechnik boten die Möglichkeit, die Schaltzeiten der Elementarvorgänge beim Rechnen gegenüber der elektromechanischen Bauweise maßgeblich zu verringern. Eccles und Jordan entwickelten bereits 1919 das bistabile Flipflop, das zum Aufbau binärer Rechenschaltungen und Zähler prädestiniert ist; es wurde ab 1944 zum Grundbaustein der neuen elektronischen Rechenanlagen. Der erste Großrechner war der „Electronic Numerical Integrator And Computer" ENIAC von Eckert und Mauchly; hierin wurden aus Flipflops zehnstellige Ringzähler zusammengestellt und zum dezimalen Zählen vewendet in genauer Analogie zum zehnstelligen Ziffernrad der mechanischen Rechenmaschinen. Bald wurde auch in den USA die vorteilhaftere binär-dezimal verschlüsselte Rechenweise erkannt und realisiert, ferner — nach Anregung seitens John von Neumann — das intern gespeicherte Programm und der elektronische Zahlenspeicher in Form der Kathodenröhre, des Ultraschall-Umlaufspeichers oder endlich der Ferritringkern-Matrix. Befruchtet wurde diese Technik durch die rasche Entwicklung der englischen Radar- und Ultrakurzwellentechnik; es entstanden in rascher Folge mehrere sehr umfangreiche und leistungsfähige Rechenanlagen der „ersten Generation" zumeist für militärische Zwecke; die große Zahl von Röhren in solchen Anlagen ließen sie jedoch äußerst aufwendig, störanfällig und von hohem Stromverbrauch sein. Trotzdem waren die 1951 in Dienst gestellten ersten UNIVAC I beim Bureau of Census 10 Jahre lang ununterbrochen in Betrieb!

Um 1948 wurde das alte Prinzip der magnetischen Speicherung von Tonfrequenzen auf Stahldraht auf die Impulsspeicherung mittels Magnetband (wie schon Tauschek und Dirks vorgeschlagen hatten) und Ferritschichten übertragen; die Magnetspeichertrommel wurde 1947 von Billing in Göttingen und Booth in England unabhängig voneinander konzipiert und fand als erstes sicheres (auch bei Stromausfall bleibendes) und relativ schnelles Speicherwerk bald allgemein Verwendung.

(6) Der nächste Schritt zur Technik der „zweiten Generation" von Rechenanlagen ergab sich durch die Entwicklung der Halbleiter-Bauweise. Logische Schaltkreise mit Germanium-Dioden wurden um 1948 von Page entwickelt; 1949—1950 begann man, die Anzahl der Röhren durch Mitverwendung von Dioden drastisch zu verringern. Transistoren wurden 1948 bekannt, aber erst 1955 mit konstanten Eigenschaften in Serie hergestellt und verwendbar. 1958 fand Esaki die Tunneldiode, die trotz einiger Vorteile noch nicht breiteren Eingang gefunden hat (Ausnahme: NEAC-L2 der Nippon Electric Co., 1964). Die Halbleiter-Technik bot die Möglichkeit, die noch sehr großen Rechenanlagen auf einen Bruchteil des Raumbedarfs zu verkleinern; die Wärmeentwicklung und die daher erforderlichen Kühlgebläse — die zwangsläufig mindestens ebensoviel Leistung verbrauchten wie die Tausende von Röhren — entfielen, und die — anfangs etwas überschätzte — Lebensdauer der Halbleiter-Schaltelemente ließ einen wartungsfreien sozusagen ewigen Betrieb erwarten.

Nach einigen Versuchen — der TRADIC der BELL Laboratories war einer der ersten transistorisierten Rechenautomaten, der „Leprechaun" von aufsehenerregend geringen Abmessungen — war im Jahr 1956 die Wende, mit der fast sämtliche alten Hersteller von Röhrenrechnern und viele neue auf die Konstruktion von transistorisierten Rechnern übergingen.

In diesem Jahr begannen auch die deutschen Firmen ihre Entwicklungen nachdem vorher allein einige Hochschulinstitute mit dem Bau von Versuchsanlagen beschäftigt waren und einen Stamm von fachkundigen Wissenschaftlern herangezogen hatten.

Seitdem entstand eine lange Reihe von immer leistungsfähigeren Rechenanlagen in Halbleiterbauweise mit meist Ferritringkernmatrix- und Magnetband-Speichern. Die mechanischen Ein/Ausgabegeräte wurden ebenso weiter entwickelt und den höheren Geschwindigkeiten der Rechner angepaßt: vor allem die schnellen Zeilendrucker — meist mit umlaufender Typentrommel und mit fliegendem Abdruck durch im rechten Augenblick magnetisch angeschlagene Hämmerchen — wurden zu erstaunlichen Leistungen gebracht (heute 22 Zeilen/s beim Ketten-Drucker IBM 1403).

Lichtelektrische Lochkartenleser mit bis zu 50 Karten/s und Lochstreifenleser für bis zu 1200 Zeichen/s dienen der Eingabe; zur Eingabe der Buchungszahlen aus maschinenlesbar beschrifteten Einzelbelegen für deren direkte Verarbeitung in Elektronenrechnern dienen magnetische und lichtelektrische Ziffernleser, die gleichzeitig die gelesenen Belege in mehrere Sortierfächer verteilen und mit hohen Geschwindigkeiten (bis 98 000 Belege/Stunde, d. h. etwa 400 000 Ziffern/Stunde) arbeiten können.

Die geistigen Väter der modernen Rechentechnik

Die Wurzeln der Entwicklung sind sehr viel einfacher darzustellen als der spätere Fortschritt zur heutigen Vielfalt, da sich die Ideen oft überschneiden, Pläne früh veröffentlicht und dann an anderem Ort schneller ausgeführt werden, Entwicklungsstellen von Großfirmen übernommen werden. Es läßt sich daher weiterhin keine klare Linie in der „Genealogie" der Rechenanlagen aufzeigen, nur einige wichtige Schritte und die geistigen Väter seien im Folgenden genannt.

Zuse führt sein grundlegendes Prinzip des Dualsystems mit Gleitkomma von der ersten arbeitsfähigen Konzeption Z 3 folgerichtig weiter zur Z 4, die noch vor Kriegsende fertiggestellt und vorgeführt werden konnte. Die Maschine mit Lochstreifenlesern und -stanzern war bis 1959 im Betrieb; sie wurde mit Ferritkernspeicher an Stelle des mechanischen Speichers ausgerüstet und diente dank ihrer vorbildlichen logischen Gestaltung als Leitbild für die Entwicklung eines Elektronenrechners der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich „ERMETH". Jetzt ist sie dem Deutschen Museum in München übereignet.

Mehrere Relaisrechner-Typen, die besonders für geodätische und optische Berechnung gedacht waren, wurden nach dem Krieg noch gebaut und eingesetzt; sie arbeiten teils mit festem Programm für spezielle Aufgaben, sind aber auch mit Lochstreifenprogrammierung universell verwendbar (Z 5 . . . Z 11). Die logische Grundstruktur wurde beibehalten auch bei den nun folgenden Entwicklungen von Röhrenrechnern, die durch Gedanken von Fromme und van der Poel befruchtet werden. Die Struktur der Mikrobefehle erlaubt sehr variable Programmierung, durch welche die Modelle Z 22 und auch die neuen Transistorenrechner Z 23, Z 25 und Z 31 charakterisiert sind. Ähnliches Prinzip verwirklichen die Rechner „Zebra" der Firma Standard Telephones and Cables (STC) und „X 1" von Electrologica, von denen der letztere als Transistorrechner und heute in schnellerer Grundfrequenz als Modell „X 8" den europäischen Verhältnissen besonders gut angepaßt ist. Eckert und Mauchly bauen nach ihrem ersten Röhrenrechner ENIAC den BINAC und entwerfen schließlich die UNIVAC-Reihe; dann übernimmt die Firma Remington Rand auch diesen Entwicklungsbetrieb und bringt den UNIVAC in Serie auf den Markt. Es entstehen zwei Versionen, deren eine als FILE-Computer die Richtung zur datenverarbeitenden Anlage mit Betonung der Speicher und Ein/Ausgabevorrichtung präjudiziert.

Aiken baut nach seinem großen Rechner aus IBM-Maschinenteilen weitere Modelle in Relaistechnik und auch mit Röhren und befruchtet damit auch die Entwicklung des DERA an der Technischen Hochschule Darmstadt, von dem aus wiederum durch Übergang der Entwicklungskräfte der Transistorrechner ER 56 von SEL inspiriert wird, der schon sehr frühzeitig große Variabilität der Ein/Ausgabe-Operationen durch einen elektronischen Koordinatenschalter für die Datenkanäle erreicht.

John von Neumann plante wie erwähnt als erster in den USA die Verwendung des Binärcode-Systems und eines intern gespeicherten Programms; der nach seinen Plänen entworfene EDVAC wird jedoch erst später (1952) fertig als der hiernach ausgerichtete EDSAC von Wilkes und Hartree in Cambridge (1959). Beide Rechner und auch der SEAC des Nat. Bureau of Standards (1950) werden mit Ultraschall-Umlauf-Speichern in Form von Quecksilber-Verzögerungsleitungen nach Wilkes (1948 ausgearbeitet) gebaut. Neumann

plant im MANIAC (1952) des IAS auch die Kathodenstrahlspeicher, die von Williams in Manchester (1947) und Forrester entwickelt wurden, und schließlich beim schnellen WHIRLWIND (mit 5 Mikrosekunden Operationstakt) den ersten Magnetkernspeicher. Die Großrechenanlage NORC von IBM hat beispielsweise 264 Kathodenstrahlröhren als Schnellspeicher für 3600 Wörter zu je 66 Bits mit 8 μs Operationstakt; sie sind sämtlich synchron geschaltet und speichern je 900 Bits.

Billing und Biermann bauten ab 1948 beim Max-Planck-Institut in Göttingen drei Magnettrommel-Versuchsrechner wachsender Größe. Die Trommel war als zuverlässiges und preiswertes Speichergerät, das auch bei Stromausfall seinen Dateninhalt bewahrt, von großem Wert auch als Arbeitsspeicher besonders bei kleinen und vergleichsweise langsamen Rechnern, die in vielen Typen für einfache wissenschaftliche Berechnungen für die Buchungs- und Abrechnungszwecke gebaut werden. IBM hatte daher mit seinem Magnettrommelrechner 650 einen sensationellen Erfolg. Als moderne Abwandlung tritt die Folienscheibe statt der Trommel als Magnetschichtträger in den Vordergrund; sie gewährleistet ohne große Fertigungsgenauigkeiten minimalen Luftspalt zwischen Magnetköpfen und Schicht. Die Großtrommel und der Plattenspeicher für Kapazitäten bis zu 4 Mio Zeichen werden für wahlfreien Zugriff zu gespeicherten Daten besonders für Buchungsaufgaben wertvoll; neuere Konstruktionen erlauben leichtes Auswechseln der Speicherplatten (IBM 1311) oder von Magnetkarten-Magazinen (NCR-CRAM u. a.). Forrester vom Massachusetts Institute of Technology (MIT) hatte 1950 die Idee, mit zwei halbstarken Strömen im sich rechtwinklig kreuzenden Drahtgitter den Speicherort eines Bits einer Magnetkern-Matrix zu kennzeichnen; die Ringkerne selbst waren erst aus dünnem Blech gewickelt, dann aus Ferritmaterial in Sinterverfahren hergestellt; E. v. Albers-Schönberg hat dieses erst bei der Vacuumschmelze Hanau, ab 1948 bei General Ceramics entwickelt. Magnetkernspeicher werden bald als eigentliche Rechen- oder Arbeitsspeicher und als Puffer eingesetzt, weil sie schnellen wahlfreien Zugriff erlauben.

Aus diesem Stand der Technik führt ab 1962 der Weg weiter durch die Entwicklung der Mikromodul- und Dünnschichttechnik, welche die bisher aus einzelnen Schaltelementen zusammengebauten Schaltungen durch Aufdampfen von Halbleiter-, Isolations-, leitenden und magnetischen Metallfilmen im Vacuum hergestellt, wodurch viele verschiedene Elemente in einem winzig kleinen Bauteil zusammengefaßt werden. Ein Muster eines in dieser Technik aufgebauten Rechners wiegt nur 9,7 kg und ist nicht größer als ein Rundfunkempfänger. Seit etwa 1965 arbeiten bereits die ersten Rechenanlagen dieser sogenannten „dritten Generation"; bei ihnen bestehen zum Teil wenigstens die Speicher aus derartigen Dünnschichtelementen, zum anderen Teil die Schaltelemente aus integrierten Mikromodulbausteinen. Sie haben wiederum stark verringerte Abmessungen und auch kürzere Schaltzeiten (einige Nanosekunden). Daher lassen sich die Rechenschritte in immer höherem Maß zusammendrängen und mehrere Programme gleichzeitig ineinandergeschachtelt abspielen, weil die Folgegeschwindigkeit der zu einem Programm gehörenden Arbeitsgänge durch die Ein/Ausgabe-Operationen begrenzt ist. Diese Bemerkung führt dazu, neben der Genealogie der Rechenanlagen, der „hardware", auf den späteren Seiten auch die parallel laufende Entwicklung der mathematischen Hilfsmittel der modernen Rechentechnik zu betrachten.

Die künftigen Möglichkeiten

Es wird an vielen Forschungsstellen auch an anderen als elektronischen Entwicklungen für logische Schaltelemente gearbeitet:

Die bereits bald erreichte Grenze der Arbeitsgeschwindigkeit (Grenzfrequenz für Transistoren ca. 100 MHz) wegen der Leitungslängen in normal verdrahteten Rechnern führt dazu, optische Mittel auszunutzen, also Lichtstrahlen als Leiter zu verwenden und Fototransistoren als Schaltmittel.

Die Empfindlichkeit der elektronischen Elemente gegen Ionisation, Strahlung und Temperaturextreme, was sie störungsanfällig und für ballistisch-militärische Zwecke schlecht einsetzbar sein läßt, begründet Forschungsarbeiten an pneumatisch-hydraulischen Logikelementen, wobei störungsdynamische Effekte und kleine Steuerkolbensätze verwendet werden können. Die Firma IBM führte als Demonstrationsmodell kürzlich eine derart gesteuerte Lochstreifenschreibmaschine vor, bei welcher der Leser, die Decodierungslogik und die Tastenbetätigung rein pneumatisch arbeiten; Remington Rand UNIVAC zeigte ein komplettes pneumatisches Rechner-Modell.

Das sehr raumsparend zu bauende mechanische Schalt- und Speicherprinzip aus Zuses ersten Rechnern dürfte daher auch wieder aufgegriffen werden, wenn, für begrenzte Zwecke, der Nachteil schwierigen Zusammenbaus größerer Anlagen nicht spürbar wird.

Wechselwirkung von Rechenkunst und -maschine

Es war zu Beginn bereits darauf hingewiesen worden, daß sich die Technik und die Kunst des Rechnens gegenseitig befruchteten; bessere Hilfsmittel ermöglichen bessere Verfahren, und mathematische Aufgaben neuer Konzeption verlangen gebieterisch und schließlich immer erfolgreich nach entsprechenden instrumentellen Lösungswegen. Die Programmierungsverfahren, die „software", sind mindestens ebenso bedeutsam für eine rationelle Anwendung der Datenverarbeitungsanlagen wie deren technische Ausführung, und nicht unbegründet hat bisher die Regel gegolten, daß ein neues Anwendungsgebiet eines Rechners in der Praxis ebensoviel Kosten für die Ausarbeitung von Arbeitsverfahren und Organisationsform und für die Programmierung erforderte wie für die Anschaffung des Rechners selbst.

Warum wollte man denn soviel rechnen?

Zuerst, bei der Pionierarbeit Schickards, war es das Bestreben, der neuen Astronomie für ihre unendlich vielen Rechnungen (nie zuvor erschien es notwendig, zur Naturerkenntnis rechnen zu müssen!) ein brauchbares Rechengerät beizugeben. Kepler, der damals mühsam seine „Rudolfinischen Tafeln" aufstellte, versuchte es mit den kurz zuvor erfundenen Logarithmen; Schickard schreibt ihm „dasselbe, was Du rechnerisch gemacht hast, habe ich in letzter Zeit auf mechanischem Wege versucht . . .".

Nach der Barockzeit, da mehr die Kunstfertigkeit der Automaten als das Rechenergebnis interessierte, war es die Umstellung aller regionalen Maße und Einheiten auf das metrische System, die nach einem Rechenhilfsmittel zur Aufstellung der Umrechnungs-Tafeln verlangte. Die erste industrielle Herstellung von Rechenmaschinen wurde von einem Bankier und Versicherungskaufmann, Fr. X. Thomas aus Colmar, ab 1824 in die Wege geleitet. Die neuen Statistikmaschinen fanden schnell ihren Weg auch in die Handelshäuser und Wirtschaftsbetriebe, um die gleichartigen Abläufe der Rechnungsführung zu erleichtern. Hiermit begann übrigens eine prinzipiell neue Arbeitsweise: die einzelnen Aufträge wurden nicht mehr wie beim manuellen Buchen in der Reihenfolge ihres Eintreffens vollständig bearbeitet und zu Ende geführt, sondern sie wurden gestapelt, bis die verschiedenen Arbeitsgänge dann an allen Aufträgen abschnittsweise nacheinander erledigt werden können. Damit ließ sich zwar das Buchungsgeschäft rationalisieren, aber es ist immer nur zu gewissen Zeitabschnitten, etwa erst abends oder zu Monatsende, abgeschlossen; zwischendurch ist keine Auskunft über den Stand des Betriebes zu erhalten. Dieses „OFF LINE"-Verfahren, das also stapelweise arbeitet, läßt sich erst neuerdings wieder zum alten „ON LINE"-Verfahren zurückführen, seitdem es Datenspeicher mit großer Kapazität gibt, die wahlfreien Zugriff zu jeder Speicherstelle erlauben, z. B. in Gestalt von Magnet-Scheiben und Magnet-Karten, beide auch mit auswechselbaren Magazinen.

Daß die Lochkartenrechner auch für wissenschaftliche Berechnungen brauchbar wurden, trat erst zögernd ins Bewußtsein; es gibt jedoch eine Reihe von mathematischen Aufgaben, die sich recht gut mit den Mitteln dieser Maschinen lösen ließen.

Der Bedarf an beträchtlich größeren Rechenleistungen ergab sich außer für die stets wiederkehrenden Routinearbeiten der Statik auch im Flugzeugbau und besonders für die Ermittlung von Schußtafeln der Ballistik wegen der großen Reichweite der Artillerie und vor allem der Fernraketen. Hierfür wurden während des Krieges die großen Rechenanlagen in den USA gebaut. Sie wurden später nur zögernd für andere wissenschaftliche und gar für kaufmännische Berechnungen eingesetzt. Hierfür waren sie allerdings auch erst wirklich geeignet, als ihre Zuverlässigkeit soweit gestiegen war, daß die stets unter Zeitdruck stehenden Buchungsaufgaben verläßlich termingemäß zu bearbeiten waren. Vor allem für die Lagerhaltung und Platzreservierungsaufgaben wurden sie zuerst eingesetzt, weil hier ihre Eignung zum Tragen kam, über Fernübertragung mittels Fernschreibeinrichtungen einlaufende Nachrichten zu verarbeiten. Nachfolgende Tabelle zeigt den Stand der Anwendung und der Herstellung von Rechenanlagen in Europa um 1962, als die unempfindliche und zuverlässige Halbleiter-Bauweise die ersten Röhrenrechner verdrängt hatte.

Rechenanlagen in Europa (Stand Juni 1962)

	in Betrieb	Rechen-zentren	Her-steller	Typen
Großbritannien	400	56	8	40
Bundesrepublik Deutschland	450	32	6	9
Italien	240	19	2	3
Frankreich	210	20	4	14
Benelux-Länder	120	20	2	3
Schweiz	110	11	—	—
Skandinavien	85	16	2	4
alle anderen	80	14	—	—
	1695			

(nach Instr. Practice, Dez. 1962)

Die Rechenabläufe werden programmiert

Schon Babbage mußte die Rechengänge „programmieren", und seine Mitarbeiterin, Lady Lovelace, die Tochter Lord Byrons, dürfte als erste Programmiererin zu feiern sein.
Die Programmierung der Rechenanlagen entwickelte sich naturgemäß mit der technischen Verfeinerung. Die ersten Rechner arbeiteten i. A. mit dem vom schriftlichen Rechenschema her gebräuchlichen 3-Adreß-Befehl: zwei Faktoren werden aus ihren Speicherplätzen abgerufen, miteinander gemäß dem Operationsbefehl verknüpft und an eine dritte Adresse zurückgespeichert. So war z. B. der mit einer Lochkarte je Befehl programmierte IBM-Rechner CPC (Card Programmed Calculator) entworfen. Wenn nur je eine Adresse und ein Operationsbefehl in einem Programmabschnitt auszuführen sind, wird die Liste der Programmbefehle selbst zwar länger, weil jede arithmetische Operation meist drei Schritte erfordert, die technische Durchführung wird jedoch wesentlich einfacher. Dieses „Ein-Adreß-Verfahren" wird heute am meisten angewendet.

Höchste Verfeinerung in der Programmiertechnik war die Modifikation der Adresse in einem normalen oder speziellen (von v. Neumann als „B-Register" eingeführten) Rechenwerk, das die Rechnung mit laufenden Indizes erleichterte. Extreme dieses Verfahrens sind sozusagen die Mikrobefehle (1951 von Wilkes entwickelt), die aus einzelnen variablen Bits aufgebaut sind, von denen jedes eine bestimmte Maschinenfunktion steuert, wie es als Sonderheit der ZUSE-Rechner erwähnt wurde. Wilkes u. a. bauen das (ebenfalls schon bei Zuses Z 4 vorhandene) Prinzip der Unterprogramme aus und erarbeiten zum EDSAC und ILLIAC allgemein verwendbare „Programmbibliotheken".

Grace Hopper u. a. begannen 1952-54, die immer komplizierter werdenden Programmiervorschriften dadurch zu verfeinern, daß übergeordnete Befehle aus möglichst sinnfälligen Wörtern in die Anlage eingelesen werden können und diese intern erst die zugeordnete Folge von einzelnen Maschinenbefehlen aus einem Speicher abrufen und zur Wirkung bringen können. Erstes Beispiel: Hoppers A-2-Compiler zum UNIVAC.

Das Programm wird dadurch oft recht einfach und schnell aufzustellen, der Bedarf an Speicherkapazität steigt jedoch stark an, und die Rechnerleistung sinkt durch die jeweils eingeschobenen Umschlüsselungsarbeiten. Wer große Aufgaben bis ins Detail bei minimalem Zeitaufwand lösen will, wird auch heute noch gezwungen, weitgehend in echter Maschinensprache zu programmieren. Trotzdem finden verständlicherweise diese Bestrebungen größte Aufnahme; nachdem fast jeder Hersteller zuerst seine eigene Programmsprache entworfen hatte, zwingt heute die entstandene Vielzahl und der Wunsch, die Programme auf verschiedenen Maschinentypen verarbeiten zu lassen, zu einer Vereinheitlichung. Die problemorientierten Programmierverfahren ALGOL und COBOL werden bereits international angewendet, ebenso einige andere für spezielle Aufgaben, z. B. APT und AUTOPROMT als Programme zur Errechnung von Steuer-Magnetbändern für automatisierte Werkzeugmaschinen.

Daß die datenverarbeitenden programmgesteuerten Rechenanlagen programmiert werden müssen, zwingt dazu, die zu automatisierenden Abläufe aus Wissenschaft, Wirtschaft oder Produktion zuvor bis ins einzelne zu untersuchen und zu durchschauen: das ist in vielen Fällen schon ein recht beachtlicher Teilerfolg. Die erforschten Gesetzmäßigkeiten dann zu formulieren, in geregelten Ablauf zu bringen und diesen einzuhalten, bringt zuerst manche Anstregung, doch bietet sich allein hierdurch die Möglichkeit, den Menschen anschließend für menschenwürdigere als Routinearbeit frei zu machen; mit der so erreichbaren Ordnung in äußeren Dingen könnten dann auch die wesentlicheren inneren Probleme geordnet werden.

Literatur:

Aufnahme und Verarbeitung von Nachrichten durch Organismen. Herausgegeb. Nachrichtentechn. Ges., Verlag S. Hirzel, Stuttgart, 1961

Steinbuch, K.: Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung. Springer Verlag 1967, 2. Aufl. (zahlreiche Literaturangaben)

Berlin, M. B.: How did Computers happen. Computer & Automation 11 (April 1962) 4, S. 12–15

Sewell, Astrahan, Patterson and Pyne: The Evolution of Computing Machines and Systems. Proc. IRE 50 (May 1962) 5, S. 1039–1058 (142 Literaturangaben)

Murray, F. J.: Mathematical Machines, Vol. I, Digital Computers. Columbia Univ. Press, New York, 1961

Morrison, Ph. und E.: Charles Babbage and his Calculating Machines: Selected Writings. Dover Publ. Inc., New York, 1962, 400 S.

Heath: Pioneers of Binary Coding. J. Inst. Electr. Engineers, London, 7 (1961) 81, S. 539–541

Alexander, W.: The Ternary Computer. Electronics & Power 10 (1964) 2, S. 36–39, 5 B, 1 Tab.

Coste, L. E.: Rechenverfahren für Digitalrechengerät. Deutsche Patent-Auslegeschrift 1116 445 (42 m 14), Priorität Frankreich vom 27. 12. 58.

Geschichte der Rechentechnik

Teil I Rechenmaschinen und Datenträger

1 *Die Entwicklung der mechanischen Rechenmaschinen*

Der Beginn des über das primitive Abzählen hinausreichenden Rechnens weist auf die Wendemarke von der rein anschauenden und sich zur qualitativen Bewertung steigernden Naturbetrachtung zum quantitativen Erfassen der Umwelt, das ganz auf Maß und Zahl begründet ist und sich zum wirtschaftlichen Handeln und zum analytischen Durchdringen ausbildet. Wohl sind hohe Kulturen und Geisteswissenschaften, nicht aber moderne Volkswirtschaft und Naturwissenschaften ohne hohe Fertigkeit im Rechnen denkbar. Es ist daher zwangsläufige Folge, daß die heutige Zeit die stärkste Blüte der Rechentechnik sieht, da das formelmäßige Beherrschen der Natur auf einen Gipfel zustrebt. Mögen die „Giant Brains", die Rechenanlagen, bald so leistungsfähig werden, daß sie dem Menschen diese einseitige Zuwendung zu einer — wie sich durch die Möglichkeit des mechanischen Rechnens zeigt — rein technischen und durchaus nicht spezifisch humanen Beschäftigung ganz abnehmen können und ihm die Muße zurückgeben, sich wieder den wesentlicheren qualitativen Fragen hinzugeben!

1.1 *Das dezimale Zahlensystem als Voraussetzung*

Über lange Jahrtausende hinweg begnügte sich der Mensch mit den naturgegebenen Rechen- und Zählhilfsmitteln, den Fingern, um kleine Zahlen bis zu einigen zehn Einheiten zu zählen und additativ oder subtraktiv zu verknüpfen. Wird schließlich, zuerst natürlich bei den staatlichen Schatzmeistern, größere Zählkapazität notwendig, so werden andere Zählelemente, Steinchen oder Perlen, Knoten oder später besondere Münzen (Rechenpfennige) den Zählklassen zugeordnet. Schon früh zeichnet man dazu Linien oder Felder in den Sand oder meißelt sie in die Tischplatte fest ein (Muster: Marmortafel aus Salamis von rd. 400 v. Chr., 1886 entdeckt, 150 x 75 cm groß; Nachbildung im Brunsviga-Museum), bezeichnet diese mit den Zahlworten und legt die Zählelemente in richtiger Anzahl auf die richtigen Linien; Addieren und Subtrahieren ist ein einfaches Umordnen und Verschieben auf andere Linien (Abb. 1-3/1.1.).

Das römische Rechensystem ist zwar im Gegensatz zu den meisten altzeitlichen dezimal, kennt aber nur die Zahlzeichen für die Dezimalstufen I, X, C, M usw. (und zur Ersparnis von Zählelementen auch die Halbwerte V, L, D, ist also „biquinär") aber kein Zeichen für jeden der 10 Ziffernwerte (ist also nicht denär), keine Stellenwertigkeit und nicht die dazu notwendige Null als eigenes Zahlzeichen. Jedes Rechnen ist daher ein Abzählen der in erforderlicher Anzahl zusammengestellten Zahlzeichen oder stellvertretender Zählelemente, beispielsweise eben der Rechenpfennige.

Ein erster Ansatz zu instrumentellem Rechnen ergibt sich durch die auch auf alte Zeiten zurückzuführende Erfindung des *Abakus* (Abb. 4/1.1), bei dem die als Zählelemente dienenden, sonst lose aufgelegten Perlen oder Schieber auf Drähten oder in Schlitzen verschiebbar, aber unverlierbar eingesetzt sind. Dieses erste und überaus brauchbare tragbare Rechenhilfsmittel ist als *„Suanpan"* oder *„Soroban"* in Ostasien seit etwa 1100 v. Chr., als *„Stschoty"* in Rußland verbreitet und noch heute in Gebrauch (Abb. 5/1.1).

Wer heute versucht, in römischer Schreibweise notierte Zahlen ohne die Hilfsmittel des Rechenbrettes oder des Abakus zu addieren oder gar zu multiplizieren, wird einsehen, daß der Fortschritt der Rechenkunst unabdingbar mit der Einführung des Stellenwertes und der verschiedenen Ziffernbilder samt der Null verknüpft ist, durch die erst die mehrfache Aneinanderreihung von gleichen Zählelementen innerhalb einer Dekade zu vermeiden ist. Bemerkenswerterweise bleibt jedoch das alte additive Prinzip für die mechanische Rechentechnik weiterhin erhalten, und auch die biquinäre Darstellung der zehn Ziffern, die der Abakus vorweggenommen hat, ist bei Lochkarten und Elektroanlagen heute noch in Gebrauch.

Erst in der Zeit um 1500 n. Chr. wurde das in Indien entstandene und von den Arabern nach Spanien gebrachte Ziffernsystem mit dezimalem Stellenwert im Abendland gebräuchlich; es hat sich von hier aus über die ganze Welt verbreitet und wurde zur fast überall gültigen Schreibweise — neben den chinesischen Wortsymbolen ein Beispiel, wie sich Sprachenverschiedenheiten durch einheitliche Schriftbilder überwinden lassen. Es ist auch Grundvoraussetzung und sozusagen erste Wurzel für die heutige Rechentechnik.

Die zehn Ziffern der „arabischen“ Schreibweise, die je nach ihrer Position für alle Zehnerpotenzen gültig sind, ermöglichen erstmals, das 1 x 1 schriftlich in allen Dekaden gleichartig darzustellen. Somit können später die 10 Zähne eines Zählrades an Stelle der Rechenpfennige treten, und jede Position dieses Zählrades kann mit der zugehörigen Ziffer bezeichnet werden. Der erste Schritt ist jedoch, das Multiplizieren zu erleichtern, indem das 1 x 1 auf den Umfang von *Rechenstäbchen* (Abb. 6/1.1) aufgezeichnet wird; Lord *Napier* of Merchiston (1550—1617) lehrte, wie durch richtiges Aneinanderfügen der einzelnen Stäbchen — eines für jede Dekade — das Teilprodukt einfach abzulesen ist; hierbei sind nur noch die jeweils benachbarten Ziffern im Kopf zu addieren. Ein nur kleiner, von einigen Gelehrten fast gleichzeitig erkannter Gedankenschritt führt dazu, diese Rechenstäbchen als zehnseitige Walzen in einem Rahmen drehbar zu lagern, und nur die eine durch den Multiplikator definierte Zeile durch verstellbare Fenster sichtbar werden zu lassen.

1.2 *Bauformen mechanischer Zähl- und Rechenwerke*

Diese Anordnung der Multiplikationstabelle wird von W. *Schickard* (Abb. 7/1.2) (1623) ausgebaut durch eine neue Konstruktion: das Addierwerk mit Zählrädern mit 10 Zähnen und mit Zehnerübertragung durch Zahnräder zum Zusammenzählen der einzeln abgelesenen Teilprodukte. Damit ist die Grundlage gelegt zum mechanischen Rechenwerk, dessen weitere Konstruktion bis auf den heutigen Tag auf diesem zehnstelligen Zahnrad zum Zählen im dezimalen System beruht, bei dem nach jeder vollen Umdrehung eines Ziffernrades das nächste um eine Stelle weitergedreht wird (Abb. 8/1.2). Schickard gibt auch noch eine Reihe von Ziffernscheiben zum Einstellen bzw. Notieren der einzelnen Faktoren- bzw. Quotienten-Stellen hinzu (Abb. 9/1.2).

Die historische Bedeutung dieser frühen Erfindung wurde erst 1957 von B. von *Freytag-Löringhoff* erkannt; ein nach den Originalskizzen konstruiertes Modell beweist (Abb. 10/1.2), daß hier ein durchaus brauchbares Hilfsmittel zur Vierspezies-Rechnung entstanden war.

Die Relativbewegung zwischen einem Einstell- und einem Ergebniswerk, durch welche die Teilprodukte stellenrichtig aufsummiert werden könnten, findet man an Schickards Gerät noch nicht; ebensowenig natürlich — weil dazu nicht erforderlich — an der einfachen Addiermaschine, die der im Entstehungsjahr des Schickardschen Gerätes geborene Blaise *Pascal* (Abb. 11/1.2) 1640—42 entwickelt und 1645 endgültig fertiggestellt hatte.

Sein Vater war Steuerintendant, und der junge Pascal entwirft ihm diese Maschine zur Erleichterung seiner täglichen Arbeit. Daher hat diese Maschine auch nicht-dezimale Ziffernräder für die in 20 und 12 Bruchteile unterteilte Geldeinheit der damaligen französischen Währung (Abb. 12/1.2).

Es war dem Genie *Leibniz* (Abb. 13/1.2) vorbehalten, diese Voraussetzung für eine vollwertige Vierspezies-Rechenmaschine — nämlich den verschieblichen Zählwerkschlitten — zu erkennen und zu konstruieren und dabei gleichzeitig die Fortschaltung eines Ziffernrades (Abb. 14/1.2) um eine einstellbare Anzahl von Positionen durch das Zusammenspiel einer Zahnwalze mit staffelförmig von 0-9 zunehmender Zähnezahl, „Staffelwalze“, mit einem verschieblichen Abgriffszahnrad (Abb. 15/1.2) zu realisieren (Abb. 16/1.2).

Diese unter Aufwand hoher Kosten und jahrelanger Bemühungen gebaute Maschine kam wegen der noch nicht genügenden feinmechanischen Kunstfertigkeit niemals zur Betriebsreife, enthält jedoch bereits alle notwendigen Bauelemente; eines der Originale wurde 1894 vom bekannten Rechenmaschinen-Konstrukteur Burkhard zu einwandfreiem Arbeiten gebracht. Leibniz erkannte auch die Eignung des *dualen Zahlensystems* mit nur den beiden Binär-Ziffern 0 und 1 zur Darstellung aller Zahlen und er war hoch erfreut, als seine Erkenntnis eine uralte chinesische Dual-Notierung, die dem Kaiser Fohi (2600 v. Chr.) zugeschrieben wird, zu enträtseln half (Abb. 17/1.2).

Ein zweites Prinzip zur wahlweisen Fortschaltung von Zählrädern um 1 bis 9 Zähne wurde von Joh. *Poleni* in Padua um 1709 erfunden: das *„Sprossenrad“* (Abb. 18/1.2). In der heutigen Ausführung lassen sich die radial verschieblich gelagerten Speichen eines Rades durch eine auf die Ziffernwerte verstellbare Leitkurve nach außen verschieben, so daß mehr oder weniger Speichen in ein Abgriff-Zahnrad eingreifen können (Abb. 19/1.2).

Vorteil des Prinzips ist, daß kein platzraubendes achsiales Verschieben von Staffelwalze oder Abgriffrad erforderlich ist; nachteilig ist jedoch, daß die Einstellgriffe der Leitkurven mit umlaufen und daher nicht griffbequem groß ausgeführt werden können.

Die nicht zum richtigen Funktionieren gebrachte und daher von Poleni selbst wieder zerstörte Maschine war mit Gewichtsaufzug geplant, wie bei den damals in Blüte stehenden Konstruktionen von großen Turm- und astronomischen Uhren. (Eine Rekonstruktion (Abb. 20/1.2) steht bei IBM-Italia.) Vermutlich in Kenntnis dieser Konstruktion baute der vorher in Mailand arbeitende Antoni *Braun*, kaiserlicher mathematischer Instrumentenmacher in Wien, um 1726 eine sehr sorgfältig ausgearbeitete Rechenmaschine mit konzentrisch um die Staffelwalze angeordneten Zählrädern. Dies dürfte

wohl die erste wirklich funktionsfähige Vierspezies-Rechenmaschine gewesen sein. Sie steht im Original im Technischen Museum, Wien (Abb. 21-23/1.2).

Der auch als Begründer der schwäbischen Waagenindustrie bekannte Pfarrer Ph. Matthäus *Hahn* (Abb. 24/1.2) in Echterdingen bei Stuttgart benutzte ab 1770 die von Leibniz angegebene Staffelwalze als Multiplizierwerk, vereinfachte dessen Konstruktion jedoch beträchtlich durch ebenfalls konzentrische Anordnung von Einstell- und Ergebniswerken. Sein Schwager Schuster in Ansbach baute im Laufe der Jahre (bis 1820) eine größere Anzahl dieser Maschinen (Abb. 25/1.2).

J. H. *Müller* in Darmstadt konstruierte 1783—84 unabhängig von ihm eine Maschine (Abb. 26/1.2) nach gleichem Prinzip (sie ist im Original in Darmstadt erhalten) und fügte eine Reihe von weiteren nützlichen Konstruktionseinzelheiten hinzu. Er mutet fast modern an mit seinen Versuchen, um wieviel schneller man mit der Maschine rechnet, und mit seinen Feststellungen, daß man die Rechenmaschine auch für die Leibnizschen Dualzahlen einrichten könne, daß man konstante Differenzen selbsttätig aufaddieren und die Ergebnisse selbsttätig und fehlerfrei ausdrucken könne: das sind die ersten Hinweise auf die Vorteile automatischen Rechnens. Die umfangreichen Berechnungsaufgaben, die um die Jahrhundertwende wegen der Einführung der neuen dezimalen Maß- und Gewichtssysteme (das 1791 vorgeschlagene Meter wird 1837 in Frankreich gesetzlich eingeführt) und der beginnenden Industrialisierung erforderlich wurden, begünstigten die serienmäßige Herstellung von Rechenmaschinen. 1818—1824 nimmt Chr. X. *Thomas* in Paris die Fabrikation einer Staffelwalzenmaschine Arithmomètre auf (Abb. 27/1.2). Bis 1878 waren etwa 1500 dieser Maschinen verkauft. Später übernimmt die von A. *Burkhardt* begründete Rechenmaschinen-Industrie in Glashütte (Sachsen) die Führung. Heute noch arbeiten mehrere Fabrikate nach dem Leibnizschen Staffelwalzen-Prinzip (Bäuerle *„Peerless"*, Pöthig *„Archimedes"* u. a.). Auch die einfache Hahnsche Form mit kreisförmiger Anordnung von Einstell- und Ergebniswerk wird 1885 von J. *Edmonson*, dann, 1908, von Chr. *Hamann* (1870—1948) erneut zum Leben erweckt und von letzterem in der *„Gauß"*-Maschine mit einer zentralen Staffelscheibe als Schaltgetriebe vereinfacht (Abb. 28/1.2); heute ist dieses Prinzip die Konstruktionsgrundlage für die kleine Rechenmaschine *„Curta"* (Abb. 29 und 30/1.2) mit zentraler Staffelwalze.

Das Sprossenrad — das auch bereits von Leibniz erwogen worden war — wird ebenfalls weiterentwickelt; *Roth* ab 1841 und W. T. *Odhner* ab 1874, dann die Firma *Trinks-Brunsviga* (Abb. 31/1.2) u. a. bauen damit handbetriebene Vierspezies-Maschinen, die weite Verbreitung finden. In den USA beginnt *Baldwin* 1875 die Produktion, und auch die *„Marchant"* (Abb. 32/1.2) ist damit ausgerüstet, die 1915 einen elektrischen Antrieb erhielt. 1921 wurde für diese Maschine ein neues Prinzip gefunden, welches höhere Umlaufgeschwindigkeit (bis 1500 U/min gegen sonst rd. 400 U/min) erlaubt, und bei dem die Einstellhebel nicht mit umlaufen, was das Bedienen erleichtert. Zum gleichen Zweck entwickelte Chr. *Hamann* (Berlin) sein formschlüssiges *Schaltklinkenverfahren* (Abb. 33/1.2) das sich bis heute in den *„Hamann"*-Maschinen (mit verkürzter Multiplikation) bewährt. Bereits um 1905 hatte er das *Proportionalhebel*-Getriebe der *„Mercedes-Euklid"* erfunden (Abb. 34/1.2); dieses eignete sich besonders gut für die Einstellung mittels Tastatur, und vermeidet durch sinusförmige Schaltbewegungen mit Eingriff der Abgriffzahnräder im Ruhezustand des Getriebes die bisher unvermeidbaren, bei schnellem motorischen Antrieb aber sehr ungünstigen stoßartigen Beanspruchungen und das Überschleudern der plötzlich freigegebenen Ziffernrollen. Diese Maschine erhielt eine eigene Tastatur zur Eingabe eines Multiplikators, wonach die wiederholte stellengerechte Addition des Multiplikanden selbsttätig gesteuert abläuft. Die Multiplikation wird immer noch als wiederholte Addition ausgeführt; einige Maschinen rechnen jedoch „verkürzt", d. h. bei Faktoren über 5 arbeiten sie (z. B. mit dem Komplement) subtraktiv und addieren in der nächsthöheren Dezimalstelle einmal mehr.

12345 · 7	12345 · 7
+ 12345	− 12345
+ 12345	− 12345
+ 12345	− 12345
+ 12345	+ 123450
+ 12345	= 86415
+ 12345	
+ 12345	Ersparnis: 3 Rechenschritte.
= 86415	

Trotz dieses an sich unbeholfenen Multiplizierverfahrens haben sich reine Multiplikationsmaschinen (Abb. 35/1.2) mit eingebautem „Einmaleins-Körper" (1886 *Selling*, 1888 *Büttner*, 1889 Léon *Bollée*) verständlicherweise nicht durchsetzen können, obschon die *„Millionaire"* von *Steiger* und *Egli* in Zürich ab 1892 bis 1920 in mehreren Exemplaren gebaut wurde.

Die Divison wird durch wiederholtes Subtrahieren des Divisors in jeder Dezimalstelle ausgeführt, solange, bis ein Zehnerübertrag in der höchsten Rechenwerkstelle angibt, daß einmal zu oft subtrahiert wurde, daraufhin wird einmal zurückaddiert. Die dazu nötigen Steuervorgänge sind von der Zehnerübertragung der höchsten Stelle einfach abzuleiten. Eine der ersten selbsttätig dividierenden Maschinen war die *„Madas"* (1908), nachdem das Prinzip von Alexander *Rechnitzer* in seiner *„Autarith"* um 1902 entwickelt worden war (US Pat. 809 075 und 1.292 513).

Die Konstruktionsprinzipien mechanischer Rechenmaschinen sind damit ausgeschöpft; die weiteren Arbeiten betreffen im wesentlichen lediglich fertigungstechnische Vervollkommnung, Ausbau zu höheren Leistungen, zu besserer Bedienbarkeit, und gefälligere Formgebung.

Schließlich werden die bisher getrennten Entwicklungen von Vierspezies-Rechenmaschinen und nur saldierenden, aber schreibenden Buchungsmaschinen zusammengefaßt in den sog. Fakturiermaschinen. Hier sind anfangs mechanische Rechenmaschinen zur Multiplikation fest eingebaut (Abb. 36/1.2) oder mechanisch (Abb. 37/1.2) bzw. elektrisch (Abb. 39/1.2) angeschlossen an eine Schreib- oder Buchungsmaschine. Nach dem ersten Versuch des Spaniers *Torres y Quevedo* in Madrid (1910) zum elektrischen Verkoppeln von Schreib- und Rechenmaschinen, vorgeführt in Paris 1920, baute *Boutet* um 1928 die *„Synchron-Madas"* aus einer Underwood-Buchungsmaschine, einer Madas-Vierspezies-Rechenmaschine und einem anschließbaren Powers-Kartenlocher. Die Operationen werden meistens durch versetzbare mechanische Reiter einer Steuerbrücke (s. Abb. 4 u. 5/9.3) angesteuert, wodurch bereits eine gewisse Automatisierung des Fakturierens ermöglicht wurde.

Als Beispiele für moderne mechanische Rechenmaschinen seien die kleine *„Alpina"* (Abb. 38/1.2) und die Volltastatur-Maschine Bäuerle-*„Badenia"* genannt, die auch, durch elektrische Verkoppelung mit einer Siemag-Schreibmaschine (Abb. 39/1.2) als *„Multiquick"*, die Ergebnisse selbsttätig auf ein Formblatt niederschreibt. Der *„Ultra"*-Rechenautomat der Firma Oerlikon (Abb. 40/1.2) ist, im Gegensatz zu den bisher erwähnten Maschinen, mit Zehnertastatur und mit einem eingebauten Druckwerk für Registrierstreifen ausgerüstet; er ist ein Beispiel von vielen dafür, wie sich neuerdings die Vierspezies-Maschinen nach Aufbau und Konstruktion an die einen eigenen Entwicklungsgang durchlaufenden Addiermaschinen anlehnen.

Immer bleibt naturgemäß das zehnwertige Zählelement in Form des Zahn- und Ziffernrades das Grundbauelement der Konstruktion. An Stelle des insgesamt gegenüber dem Einstellwerk verschieblichen Rechenwerkes tritt hier der zwischen diesen beiden vermittelnde verschiebliche kleine Stift- oder Übertragungsschlitten, so daß beide Werke ortsfest bleiben und die dezimale Stellen-Fortschaltung schneller und stoßfreier vor sich gehen kann. Leistungsfähigere Maschinen ermöglichen oft Rückübertragung des Ergebnisses in das Einstellwerk und erhalten z. T. zu dem Rechenwerk noch ein zweites Speicherwerk; eine Buchungs- und Statistikmaschine *„LogAbax"* (Abb. 41/1.2) erhält sogar 198 mechanisch-dezimale, beliebig anrufbare Speicherwerke (Abb. 42/1.2).

Ein grundsätzlich neuartiger, flexiblerer Aufbau der Vierspezies-Maschinen ist jedoch nur in Versuchskonstruktionen (z. B. von Ferd. *Hecht*) entwickelt und nicht realisiert worden; auch die an sich bekannte Simultan-Zehnerschaltung hat die schrittweise von Stelle zu Stelle fortschreitende noch nicht allgemein abgelöst. Immerhin bilden die mechanischen Rechenmaschinen mit dezimalem Schaltgetriebe heute einen markanten Abschluß einer langen Entwicklung, die aus genialen Anfängen zu zuverlässigen und nützlichen Konstruktionen geführt hat. Ihre Rechengeschwindigkeit ist so hoch, wie es bei der rein mechanischen Arbeitsweise möglich und gleichzeitig der Bedienung von Hand angepaßt ist. Sie werden — wenigstens in den einfacheren Typen — so lange noch Verwendung finden, wie sich handbediente Rechenmaschinen von langer Lebensdauer und geringem Wartungsbedarf elektronisch nicht ebenso zweckmäßig und preiswert bauen lassen. Als Beispiele für den ersten Schritt der sich anbahnenden Entwicklung sei — im Vorgriff auf spätere Abschnitte — auf die vornehmlich mit Kaltkathodenröhren ausgerüstete *„Anita"* (Abb. 43/1.2) (1960) hingewiesen, der 1964 die erste voll mit Transistoren ausgerüstete Tischrechenmaschine *IME 84* (Edison) mit Zehnertastatur und weitere Modelle (*FRIDEN 130*, *Wanderer-Conti* (mit Druckwerk), ferner LOCIT-1 von Wang Labs., ALAS von Elektronska Industrija, Nisch und COMPET/Sharp von Hayakawa Electric, Osaka) u. a. nachfolgen.

1.3 *Anfänge zur Konzeption von Rechenautomaten*

Das Berechnen und Drucken von „geometrischen Progressionen" (Parabeln höherer Ordnung) mittels konstanter Differenzen wurde bereits von J. H. *Müller* (Abb. 26/1.2) selbsttätig zu erledigen vorgeschlagen. Charles *Babbage* entwarf 1823 eine solche *„Differenzenmaschine"* (Ab 44/1.3). Sie sollte Funktionen mit konstanter fünfter Differenz schrittweise aufrechnen und die Ergebnisse ausdrucken. 1823 wurde ein Modell zu bauen begonnen, das 44 Rechenschritte je Minute ausführen sollte. 1829 häuften sich die finanziellen Schwierigkeiten; schließlich geriet 1837 die Arbeit ins Stocken und mußte 1842 endgültig beendet werden. Kein Wunder, daß dies so mißriet: Babbage mußte erst die Vorrichtungen und Werkzeugmaschinen entwerfen, die derart präzise Verzahnungen und Maschinenteile herzustellen vermochten.
Nach Babbages Vorbild bauten später *Donkin* in England und Georg und Edvard *Scheutz* (Vater und Sohn) in Schweden eine Differenzenmaschine (Abb. 45/1.3), die erwartungsgemäß arbeitete und im Dudley-Observatorium in Albany verwendet wurde. Diese Maschine druckte tatsächlich die Ergebniszahlen, d. h. vielmehr sie prägte die Ziffern durch Stempel in Pappmatern als Gußform für den Druckstock (Abb. 46/1.3), ebenso die Differenzenmaschine von *Wiberg* (Goldmedaille der Weltausstellung Paris 1855), mit der 1875 eine Logarithmentafel erstellt wurde.

Was Babbage damals unter Aufwand von 17 000 Pfund wegen der Unvollkommenheit der technischen Möglichkeiten nicht erreichte, kann etwa 100 Jahre später mit marktüblichen Buchungsmaschinen leicht realisiert werden: die *„National 3000"* hat 6 beliebig aufrufbare Speicherwerke, ein Druckwerk und Springwagen; das Institut für Praktische Mathematik der Technischen Hochschule Darmstadt baute 1943 dazu Programmsteuerwerke zum fortlaufenden Aufruf der Addier- und Speicherwerktasten vermittels aufgesetzter Magnete und errechnete damit vollselbsttätig Zwischenwerte zu weitmaschig berechneten Funktionstafeln durch bereichsweise konstante fünfte Differenzen (siehe Abschnitt 4.1).

Eine kleine spezielle Zweifach-Addiermaschine mit Druckwerk für das Berechnen von Funktionswerten nach konstanter zweiter Differenz wurde von Chr. Hamann (Abb. 47/1.3) bereits 1912 gebaut.

Babbage war durch seinen Mißerfolg keineswegs entmutigt; er wandte sich 1833 einem weit größeren und vollends unerfüllbaren Projekt zu: dem *„analytischen Rechenautomaten"* (Abb. 48/1.3). Dieser sollte nicht nur eine bestimmte mathematische Aufgabe, eben die fortlaufende Addition, bearbeiten, sondern für jede Rechenaufgabe geeignet sein, deren Rechenablauf explizit festgelegt werden kann.

Seine technische Intuition fand damals die heute in Elektronenrechnern als erforderlich realisierten Baugruppen:

das Rechenwerk mit dezimalen Zählern und Schaltgetrieben zur Steuerung des Weiterrechnens in Abhängigkeit vom jeweiligen Rechenergebnis,

den Speicher (für tausend 50stellige Zahlen),

das Eingabewerk für Zahlen und Rechenvorschriften (er plante die Verwendung von Lochkarten),

das Druckwerk mit Prüfung der Richtigkeit des Ziffernsatzes.

An diesen Konstruktionsplänen ist — neben dem Mut, sie mit den damaligen Mitteln in rein mechanischer Bauweise realisieren zu wollen — vor allem bemerkenswert, daß bereits die Simultan-Zehnerschaltung für alle Stellen des Zählwerks vorgesehen war, um bei dessen hohen Stellenzahlen den gewünschten schnellen Rechentakt überhaupt zu ermöglichen. Sie wurde später in Lochkarten-Tabelliermaschinen, aber bis heute normalerweise nicht in Vierspezies-Rechenmaschinen eingebaut, obwohl durch den schrittweisen Zehnerübertrag die Arbeitsgeschwindigkeit wie auch die Stellenzahl des Rechenwerks begrenzt wird.

Durch die Konzeption der „analytical engine" erweist sich Charles *Babbage* als geistiger Vater aller späteren Rechenautomaten, obzwar diese oft ohne genaue Kenntnis seiner Gedanken entwickelt wurden, und wenn auch die Verwirklichung seiner genialen Idee ebenfalls unvollendet blieb, als er 1871 starb. Sein Sohn H. P. *Babbage* baute später die wesentlichen Teile des Modells weiter und berechnete zur Demonstration der Brauchbarkeit eine Tafel der Vielfachen von π. Diese Modelle und Rekonstruktionen stehen heute im Science-Museum in London; Babbage wurde — schon zu seinen Lebzeiten — als „crackpot", als Narr angesehen und fand nur noch knappe Erwähnung in Fachbüchern und Lexika. Für programmgesteuerte Rechenanlagen bestand über Jahrzehnte hinweg keine Verwendung, und selbst die umfangreichen Aufgaben der statistischen Erfassung und des kaufmännischen Rechnens ließen sich mit einfacheren Mitteln bearbeiten. Erst fast hundert Jahre später, in unseren Tagen, findet Charles Babbage die Anerkennung für seine Leistung, deren er selbst so sicher war. Er schreibt 1864:

> "Half a century may probably elapse before . . . any man shall succeed in really constructing an engine embodying in itself the whole of the executive department of mathematical analysis . . . I have no fear of leaving my reputation in his charge . . . able to appreciate the nature of my efforts and the value of their results."

Literatur:

Chase, G. C.: History of Mechanical Computing Machinery. Proc. ACM, May 1952.

Couffignal, L.: Les machines à calculer, leurs principes et leur évolution. Gauthier-Villars Paris 1933.

Czapla, V.: Entwicklung und Ursprung von mathematischen Maschinen von alters her bis zum zweiten Weltkrieg. In: Acta Historiae Rerum Naturalium, No. 6, Tschechoslowak. Akad. Wiss.

Favier, J. und R. Thomelin: La mécanographie, machines à calculer etc. Les éditions de Montligeon 1963.

Galle, A.: Mathematische Instrumente. Teubner Verlag Leipzig 1912.

Martin, E.: Die Rechenmaschinen und ihre Entwicklungsgeschichte. Verlag Joh. Meyer, Pappenheim 1952.

Meyer zur Capellen, W.: Mathematische Instrumente. Akadem. Verlagsges. Leipzig 1944.

Willers, Fr. A.: Mathematische Instrumente. Verlag R. Oldenbourg 1943.



Abb. 1/1.1
Das Rechenhilfsmittel bis zum hohen Mittelalter: Rechenbrett zum Rechnen auf den Linien. Der Kaufmann legt Rechnung auf seiner Bank mit Rechenpfennigen; der Betrag von 3161 wird gerade zum Kummer des Kunden um 10 erhöht.

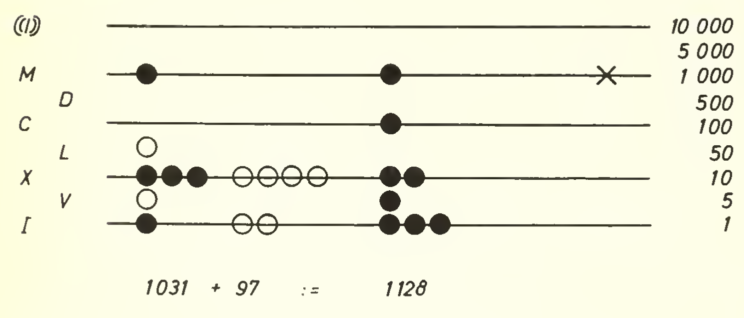
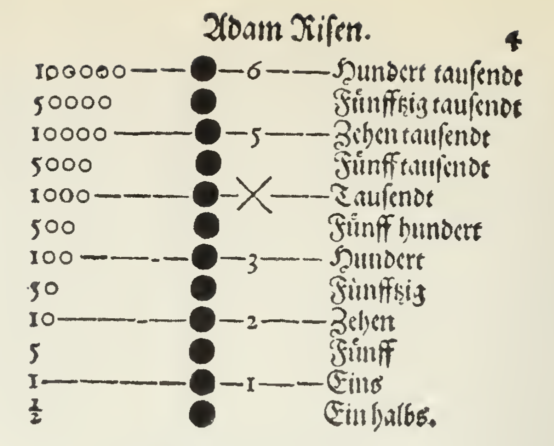


Abb. 2/1.1
Arbeitsweise des Rechnens auf den Linien: wenn 5 Rechenpfennige auf einer Linie zusammenkommen, wird stattdessen einer in den anschließenden Zwischenraum gelegt. Die Linie für die Tausender wird stets mit einem Kreuz bezeichnet.



Adam Risen. 4

100000	6	Hundert tausendt
50000		Fünfftzig tausendt
10000	5	Zehen tausendt
5000		Fünff tausendt
1000	X	Tausendt
500		Fünff hundert
100	3	Hundert
50		Fünfftzig
10	2	Zehen
5		Fünff
1	1	Eins
½		Ein halbs.

Addiren oder
Summiren

Heißt zusamen thun / Lehret wie man viel vnd mancherley zahlen von gülden/groschen/pfenning vnd hellern in eine summa bringen soll. Thu jhm also: Mache für dich Linien/die theil in so viel feld/als Müntz vorhanden/Lege die fl. besonder/gro. allein/ dr. vnd heller auch jeglich allein / hlr. vnd dr. mach zu gro. was kompt leg zu den gro. Als dann mach die gro. zu fl. leg es zu den andern gülden/nach art eines jeglichen Landes.

Auch soltu mercken/wenn fünff dr. auff einer Linien ligen/daß du sie auff hebest/vñ den fünfften in das nechst spacium darüber legest.

A iiij Deß

Abb. 3/1.1
Seite 4 aus Adams Rieses Lehrbuch „Das Rechnen auf den Linien", Annaberg 1574, in welchem neben diesem an kein spezielles Ziffernsystem gebundenem Hilfsverfahren auch das neuzeitliche Rechnen mit „arabischen" Ziffern gelehrt wird.



Abb. 4/1.1
Römischer Abakus. Originalgröße 9 x 12 cm. Nachbildung eines in der Bibliothèque Nationale, Paris, befindlichen Originals.



Abb. 5/1.1
Neuere Formen des Soroban und des Stschoty.

Abb. 6/1.1
„Nepersche Rechenstäbchen" und Titelblatt einer Rechenanleitung von Lord Napier in italienischer Übersetzung, Verona 1623.





Abb. 7/1.2
Wilhelm Schickart (1592–1632), (meist Schickard geschrieben), der Erfinder der ersten Vierspezies-Rechenmaschine. Professor der biblischen Sprachen und der Astronomie in Tübingen. Er hält ein Modell zur Demonstration der Umlaufbewegungen von Sonne, Mond und Erde in der Hand; damit wird sein Fachgebiet und seine enge Freundschaft mit Kepler gekennzeichnet.

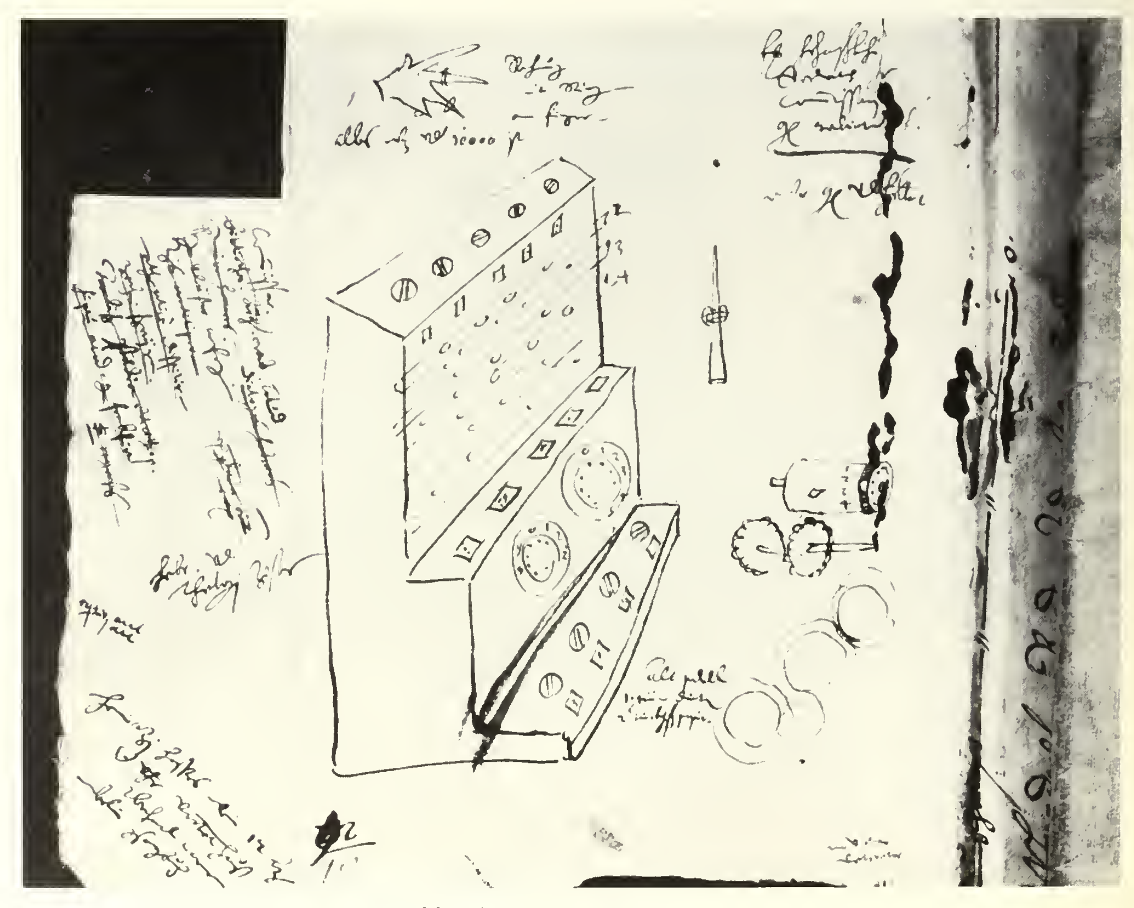


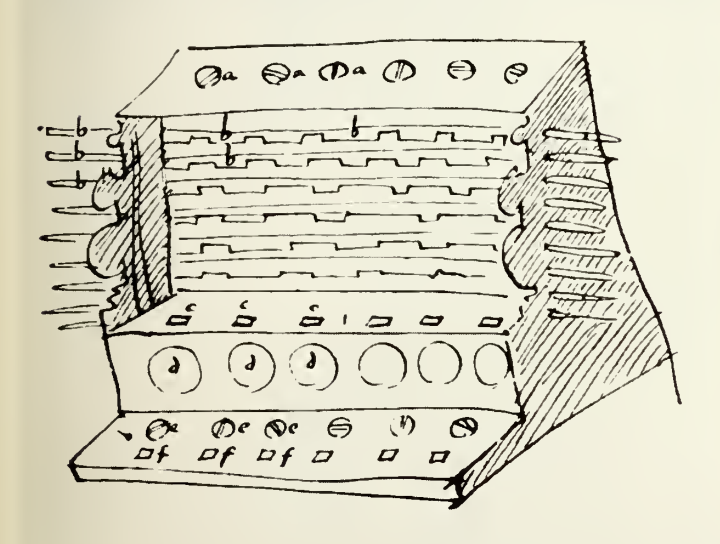
Abb. 8/1.2
Skizze zur Konstruktion seiner Rechenmaschine in Schickards Notizbuch.

Abb. 9/1.2

Beschreibung und Skizze der Rechenmaschine im Brief Schickards an Kepler am 20. 9. 1624.

1624 Nr. 975

clarissima, existimavi in abaco Tychonis p. 270. pro 26 · lapsu proclivi 16 à Hypothetis repositum fuisse. Sed tamen alias data opportunitate ista diligentius per Radium majusculum examinabo. Nunc ad Habrechtum. Vides ne missis prioribus schedis A.B.C.D.E. quid mihj negotij facessat, nunc quando propter editionem quorundam Hebraicorum minimè his nugis intentum esse vacabat. Vocabo hic in auxilium tuas quoque quas de isthac re ad Nobilissimum Dominum Hohenfelderum dedistj, et ipse mihj communicavit. Condona id coangustato, et patere vt quacunque ratione elabar. Arithmeticum organum alias delineabo accuratius, nunc et festinate hoc habe. aaa sunt

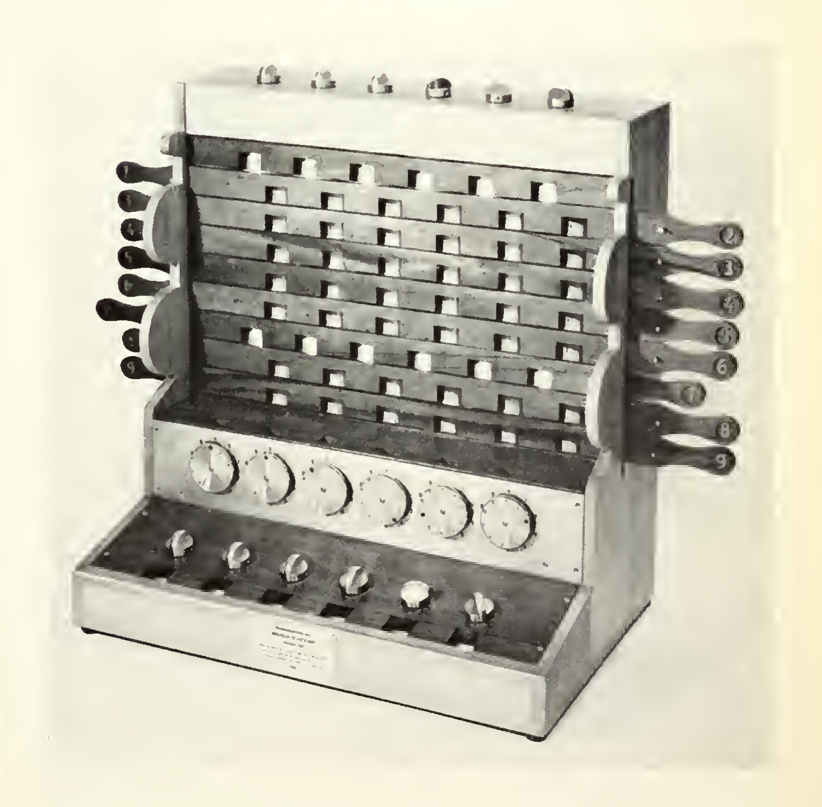


capitella cylindrorum erectorum, quibus multiplicationes digitorum inscriptae, et prominent, quantum ijs opus est, per fenestellas bbb ductiles. ddd intus habent affixas rotulas 10 dentium, sic contextas, vt motâ qualibet dextra decies, proxima sinistra semel; aut illâ 100 vicibus circumactâ, tertia semel etc. promoveatur. Et quidem in eandem partem; quod vt praestarem, intermediâ consimilj h opus fuit. Quaelibet intermedia omnes sinistras movet, debitâ proportione; nullam verò dextram, quod singulari cautione indiguit, quotus eorum prominet per foramina ccc in

Abb. 10/1.2

Nachbau der Schickardschen Rechenmaschine nach Angaben von Bruno Baron von Freytag-Löringhoff, Universität Tübingen 1961.

Oben 6 Drehknöpfe zum Einstellen der das 1 x 1 tragenden Walzen,
vorne 8 wahlweise zu öffnende Fensterzeilen zum Ablesen des gewünschten Teilproduktes,
darunter 6 Einstellscheiben des Addierwerkes mit den kaum sichtbaren Ablesefenstern darüber,
unten 6 Merkscheiben mit Anzeigefenstern zum Einstellen des sich nach und nach ergebenden Quotienten.



Ein Modell steht im Rathaus der Stadt Tübingen, weitere in einigen Museen. Andere, zum Teil gering abweichende Rekonstruktionen nach Schickards Skizzen wurden gebaut von Prof. Flad, Paris und Ing. Lefèbvre, Brüssel.



Abb. 11/1.2
Blaise Pascal 1623 – 1662, Erbauer der ersten gebrauchsfähigen Addiermaschine, 1640-45.

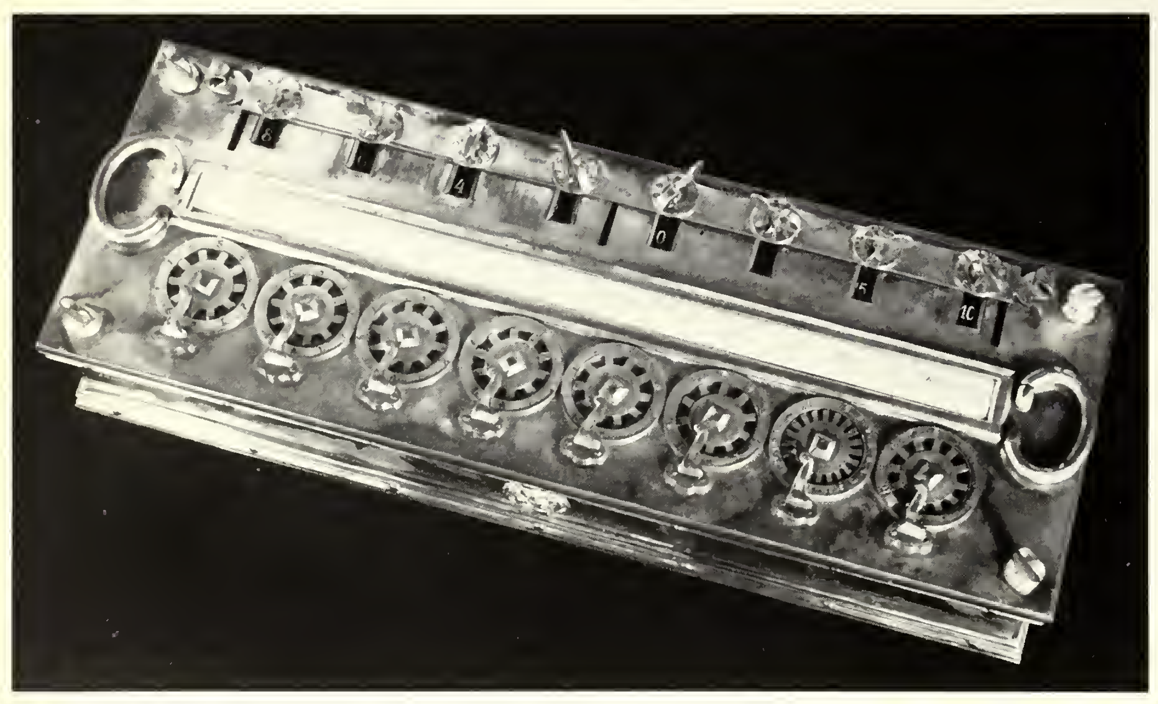


Abb. 12/1.2
Pascals Addiermaschine
8 Einstellräder, mit einem Stift von der jeweiligen Ziffer bis zum Anschlag herumzudrehen; die Einheit ist in 20 Sous zu 12 Deniers unterteilt.

Die Deckleiste über den Ziffernrädern des Ergebniswerks kann nach vorn verschoben werden, wodurch die Komplement-Ziffern sichtbar werden. Die vereinfachte Skizze zeigt das Prinzip der Zehnerübertragung: Beim Übergang von 9 nach 0 fällt der von den Stiften A angehobene Hebel B wieder nach unten zurück, wobei die Klinke C das nächste Schaltrad um eine Stelle weiterdreht.

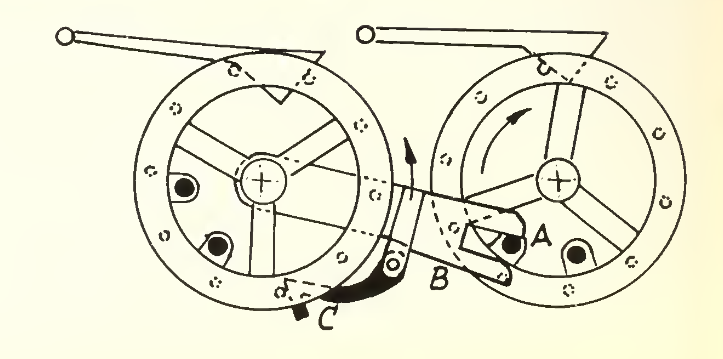
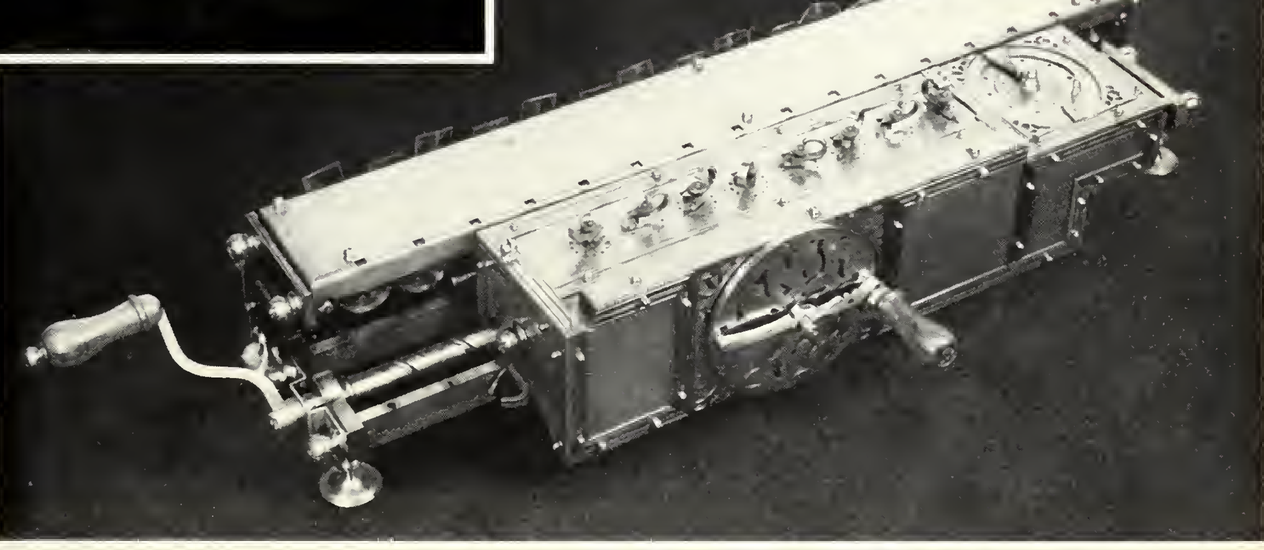




Abb. 13/1.2
Gottfried Wilhelm Leibniz 1646 – 1716
Erfinder der Staffelwalze und der ersten Vierspezies-Rechenmaschine mit Stellenverschiebung und Quotientenwerk.

Abb. 14/1.2
Ansicht der Leibnizschen Rechenmaschine
Einstellwerk und Umdrehungszählwerk mittels Handkurbel und Gewindespindel verschieblich; Antrieb durch die vornliegende Handkurbel. Kapazität 8 x 16 Stellen.



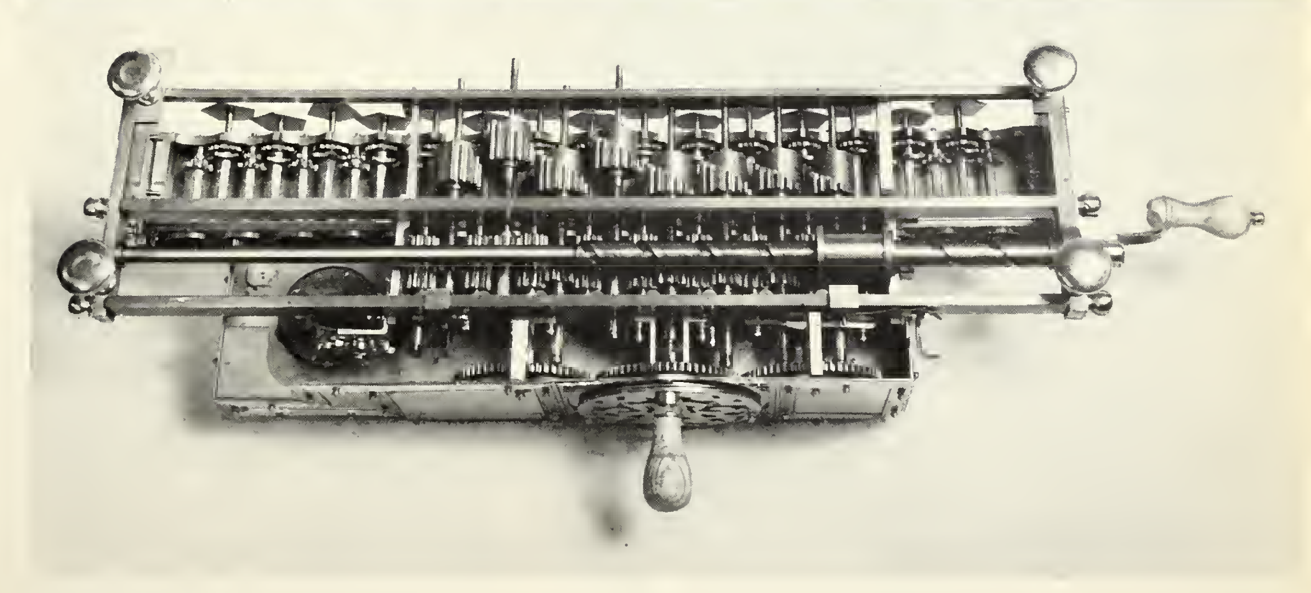


Abb. 15/1.2
Rechenmaschine von Leibniz   Einblick von unten auf die verschieblichen Staffelwalzen.

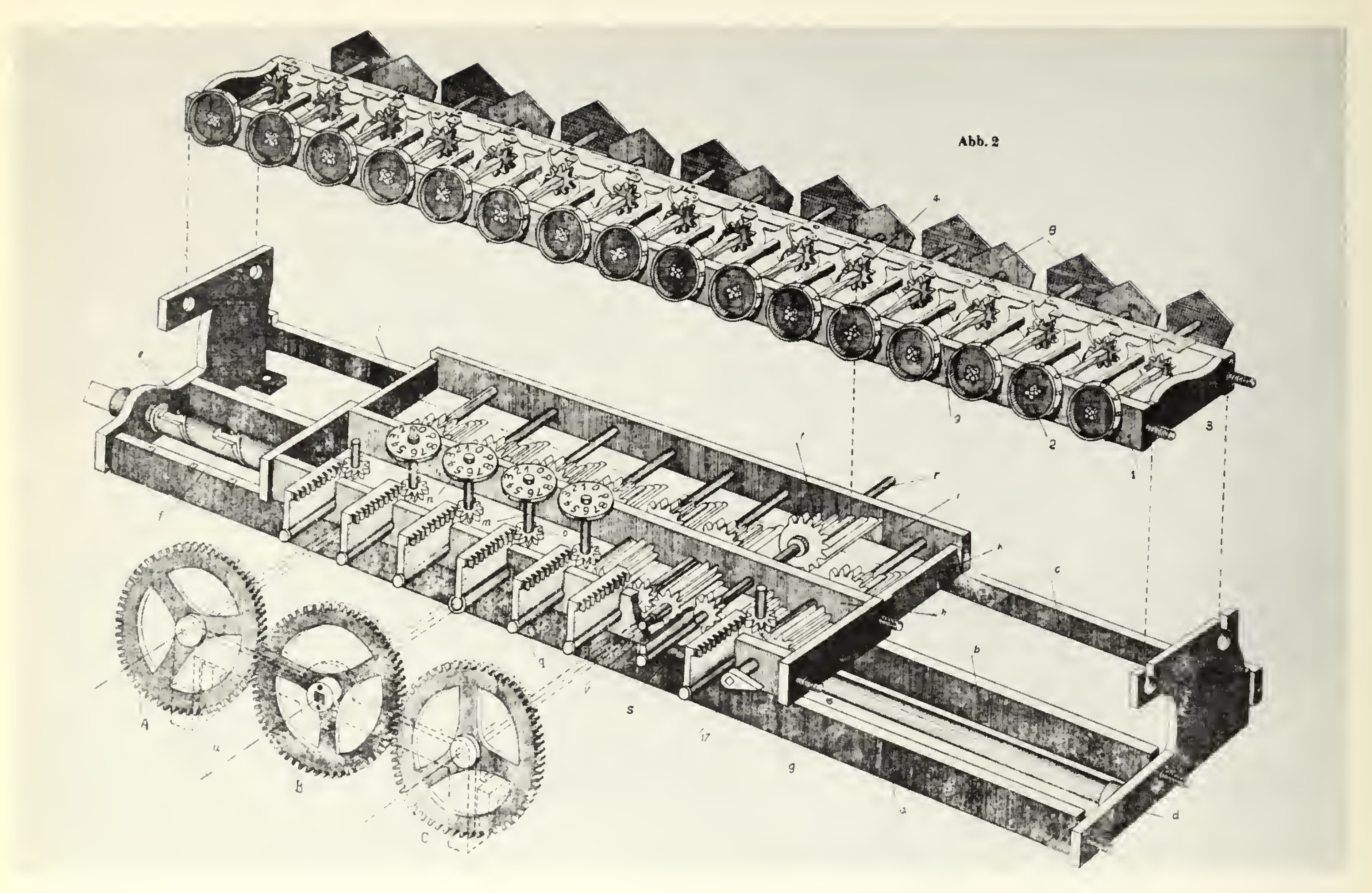


Abb. 16/1.2

Detailzeichnung der Rechenmaschine von Leibniz
Unten: der mittels Gewindenut verschiebliche Wagen mit Einstellwerk und Staffelwalzen als Rechengetriebe; darüber: das Ergebniswerk mit den fünfeckigen Scheiben, die zum Nach-Ausrichten der mit ungenau funktionierender Zehnerübertragung ausgerüsteten Zählwerke dienen.

Zeichnung Lange

Abb. 17/1.2

Erste Seite der Leibnizschen Abhandlung „DE DYADICIS" über Dualzahlen. (Aus Leibnizens mathemat. Schriften, herausgeb. von C. I. Gerhardt, Band 7. Halle 1863, S. 223-227 und 228-234).

DES SCIENCES. 85

EXPLICATION
DE L'ARITMÈTIQUE BINAIRE,

Qui ſe ſert des ſeuls caracteres 0 & 1; avec des Remarques ſur ſon utilité, & ſur ce qu'elle donne le ſens des anciennes figures Chinoiſes de Fohy.

PAR M. LEIBNITZ.

1703. 5. May.

LE calcul ordinaire d'Arithmetique ſe fait ſuivant la progreſſion de dix en dix. On ſe ſert de dix caracteres, qui ſont 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, qui ſignifient zero, un, & les nombres ſuivans juſqu'à neuf incluſivement. Et puis allant à dix, on recommence, & on écrit *dix* par 10; & dix fois dix, ou *cent*, par 100; & dix fois cent, ou *mille*, par 1000, & dix fois mille, par 10000. Et ainſi de ſuite.

Mais au lieu de la progreſſion de dix en dix, j'ay employé depuis pluſieurs annees la progreſſion la plus ſimple de toutes, qui va de deux en deux; ayant trouvé qu'elle ſert à la perfection de la ſcience des Nombres. Ainſi je n'y employe point d'autres caracteres que 0 & 1; & puis allant à deux, je recommence. C'eſt-pourquoy *deux* s'écrit icy par 10, & deux fois deux ou *quatre* par 100; & deux fois quatre ou *huit* par 1000, & deux fois huit ou *ſeize* par 1000, & ainſi de ſuite. Voicy *la Table des Nombres* de cette façon qu'on peut continuer tant que l'on voudra.

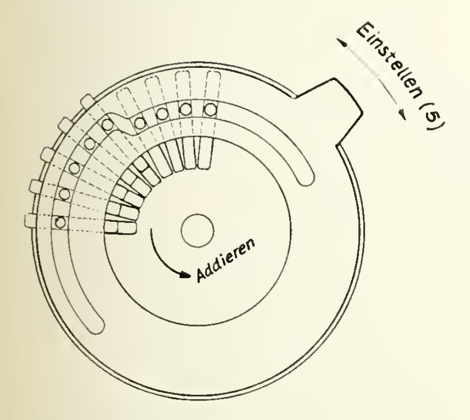
On voit icy d'un coup d'œil la raiſon d'une *proprieté celebre de la progreſſion Geometrique double* en Nombres entiers, qui porte que ſi on n'a qu'un de ces nombres de chaque degré, on en peut compoſer tous les autres nom-

L iij



Abb. 18/1.2

Titelblatt und Zeichnung aus Poleni's „Machinae aritmeticae", Venedig 1709.



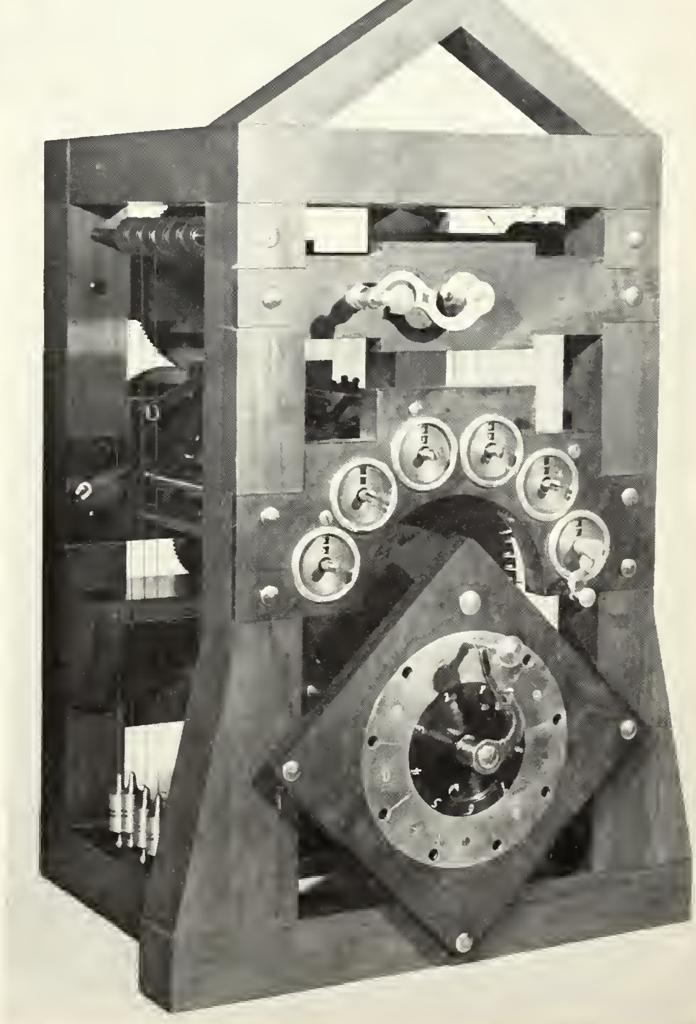
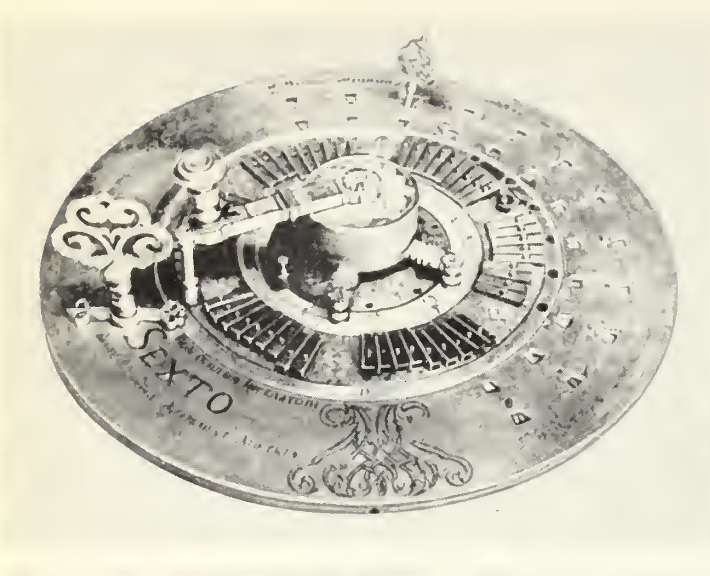


Abb. 19/1.2

Prinzipdarstellung des Zahnrades veränderlicher Zähnezahl mit umlaufendem Einstellhebel. Das Sprossenrad wurde in ähnlicher Art zuerst von Poleni 1709 in Padua erfunden und von Antonius Braun in Wien ausgeführt. Die Konstruktion Polenis war durch Gewichtsaufzug bemerkenswert, wurde aber nicht arbeitsfähig und vom Erfinder selbst wieder zerstört.

Abb. 20/1.2

Nachbau der Rechenmaschine von Poleni in Padua durch IBM-Italia. Zwischen dem großen Einstellwerk und den 6 Ergebnis-Zählwerken zeigt sich die zentrale Schalttrommel mit 3 mal 9 zurückziehbaren Schaltzähnen. Die Maschine hatte Gewichtsantrieb.



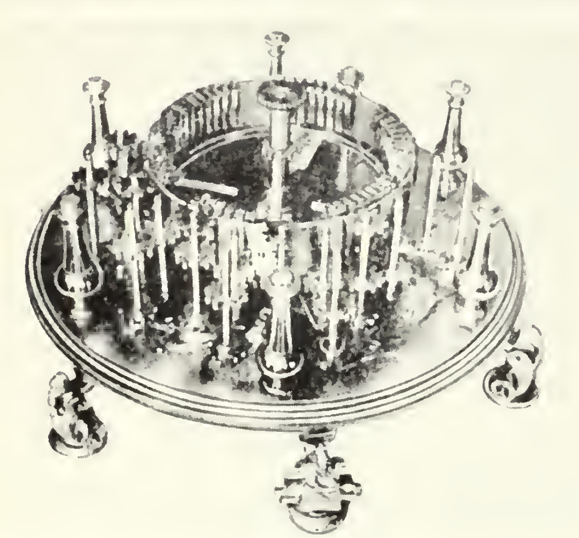


Abb. 21/1.2

Rechenmaschine des Antonius Braun in Wien, 1727
Als kaiserlicher Hof-Optikus und Mathematische Instrumentenmacher baute er eine erste voll funktionierende und heute noch imponierende Vierspezies-Rechenmaschine in Dosenform mit zentralem Schaltwerk, das im Prinzip dem des Poleni entspricht; da er vor seiner Wiener Zeit in Mailand tätig war, dürfte er dessen Projekt im benachbarten Padua gekannt haben.
(Quelle: Dr. Maria Habacher, Mathematische Instrumentenmacher, Mechaniker, Optiker und Uhrmacher im Dienste des Kaiserhofes in Wien 1630–1750. Blätter für Technikgeschichte, Heft 22.)

Abb. 22/1.2

Innenansicht der Rechenmaschine von Antonius Braun (ebenda)

Abb. 23/1.2

Die „Leupoldsche Rechenmaschine" von 1750 ist signiert: „Braun invenit, Vayringe fecit". Besonders deutlich sind die langen Schaltzähne zur Zehnerübertragung.



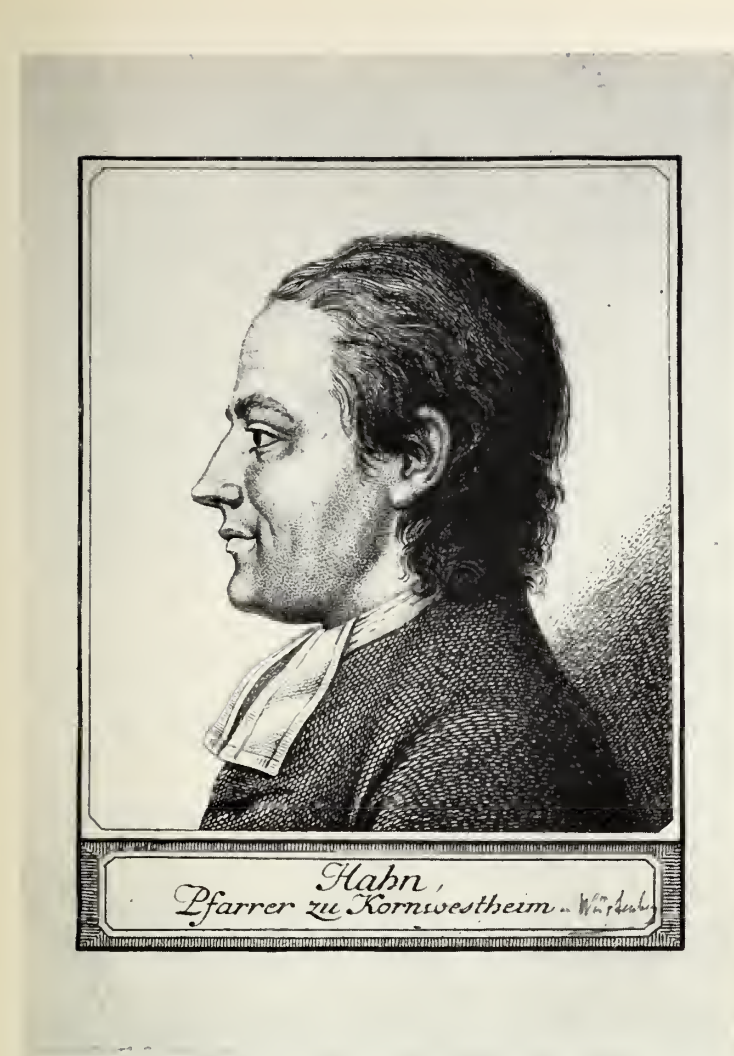


Abb. 24/1.2

Philipp Matthäus Hahn, Konstrukteur der ersten „in Serie" nachgebauten und arbeitsfähigen Vierspezies-Rechenmaschinen nach Staffelwalzen-Prinzip.

Abb. 25/1.2

Rechenmaschine nach Hahn, von Schuster in Uffenheim 1789-1792 gebaut. Kapazität 12 Stellen für die konzentrisch liegenden Einstell- und Ergebniswerke. Eingabe durch senkrechtes Verschieben der aus Blechstreifen zusamengebauten äußeren Staffelwalzen: Antrieb mit zentraler Handkurbel.



Abb. 26/1.2

*J. H. Müllers Rechenmaschine in konzentrischem Aufbau, 1784.
Die Einstellscheiben und -räder sind z. T. auswechselbar, um auch in nichtdezimalen Maßsystemen rechnen zu können.*

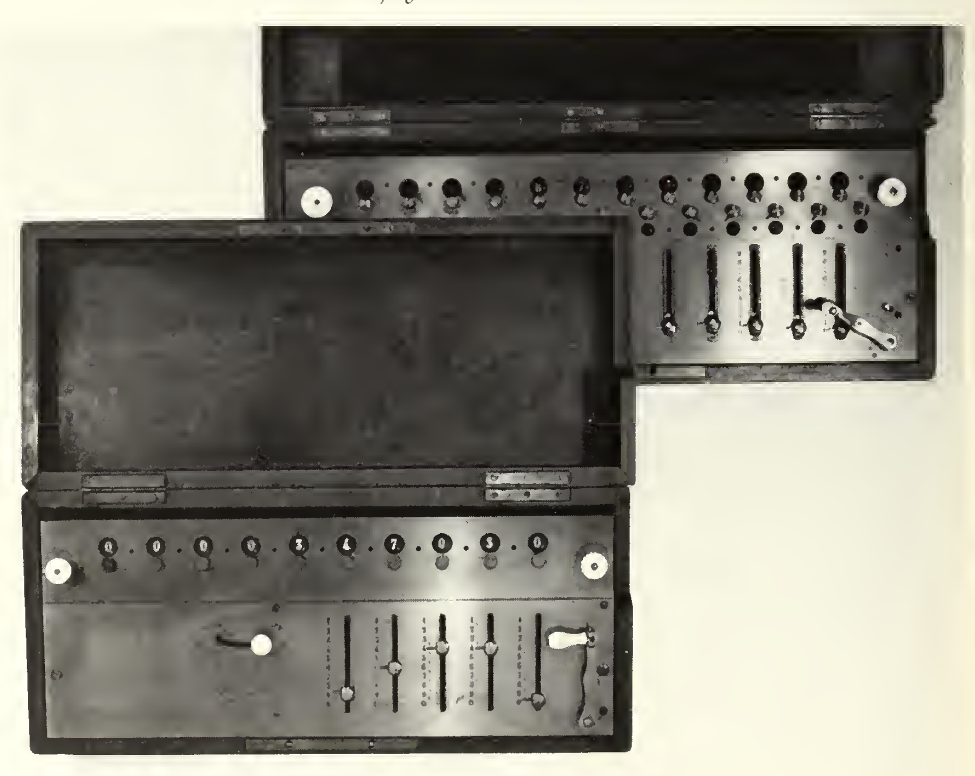


Abb. 27/1.2

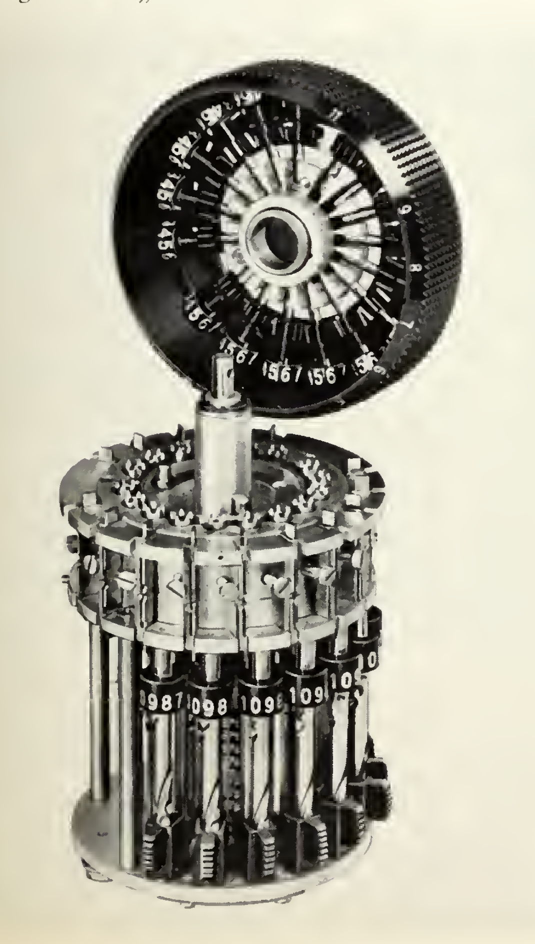
„Arithmomètre" von Chr. X. Thomas (aus Colmar) in Paris. Die erste in größeren Stückzahlen fabrizierte Rechenmaschine mit Staffelwalzen und Nullstellung durch Zahnstange und Zahnrad mit Zahnlücke.

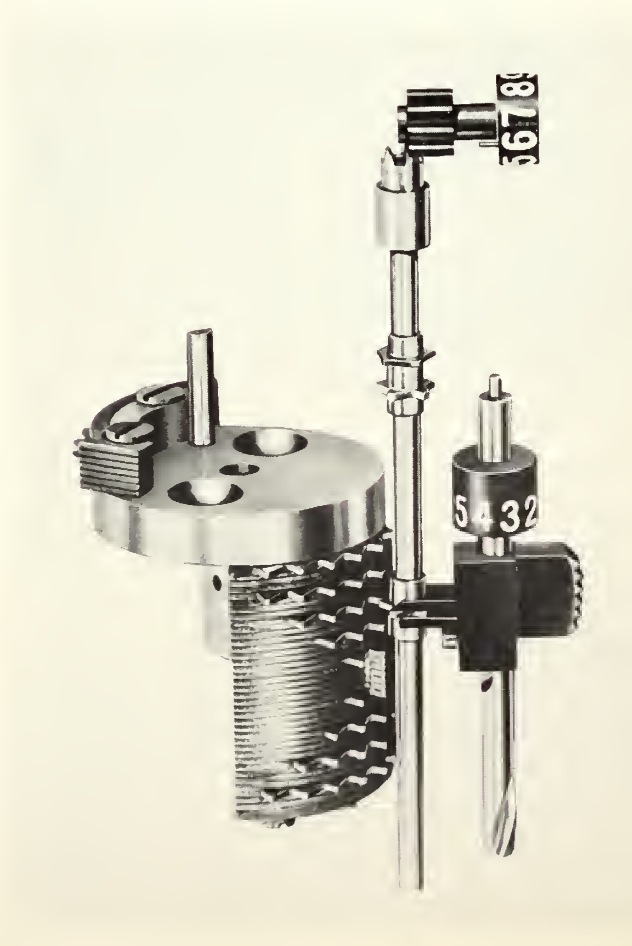


Abb. 28/1.2
„Gauß" (1906), von Chr. Hamann in Berlin konstruierte kleine Rechenmaschine mit zentraler flacher Staffelzahnscheibe, mit Schiebeknöpfen zum Einstellen. Zur leichteren Bedienung ist die Maschine schräg auf einen Fuß aufgesetzt.

Abb. 29/1.2
„Curta", kleine Taschen-Rechenmaschine von Kurt Herzstark 1948, Ergebniswerk im abgenommenen drehbaren Deckel, mit zentraler Antriebswelle und ringförmig angeordneten Einstellschiebern mit Anzeige durch Ziffernrolle.

Abb. 30/1.2
„Curta". Der zentrale Staffelwalzen-Körper mit zwei gegenläufigen, aus ineinandergeschichteten Scheiben aufgebauten Staffelwalzen zur Addition und zur Subtraktion durch Addition der Komplementzahlen, das achsial verschiebliche Zahnrad auf der genuteten Welle und die Ergebnis-Ziffernrolle oben, rechts die Einstellung durch Schiebeknopf und die Einstellanzeige durch die mittels Gewindespindel gedrehte Ziffernrolle.





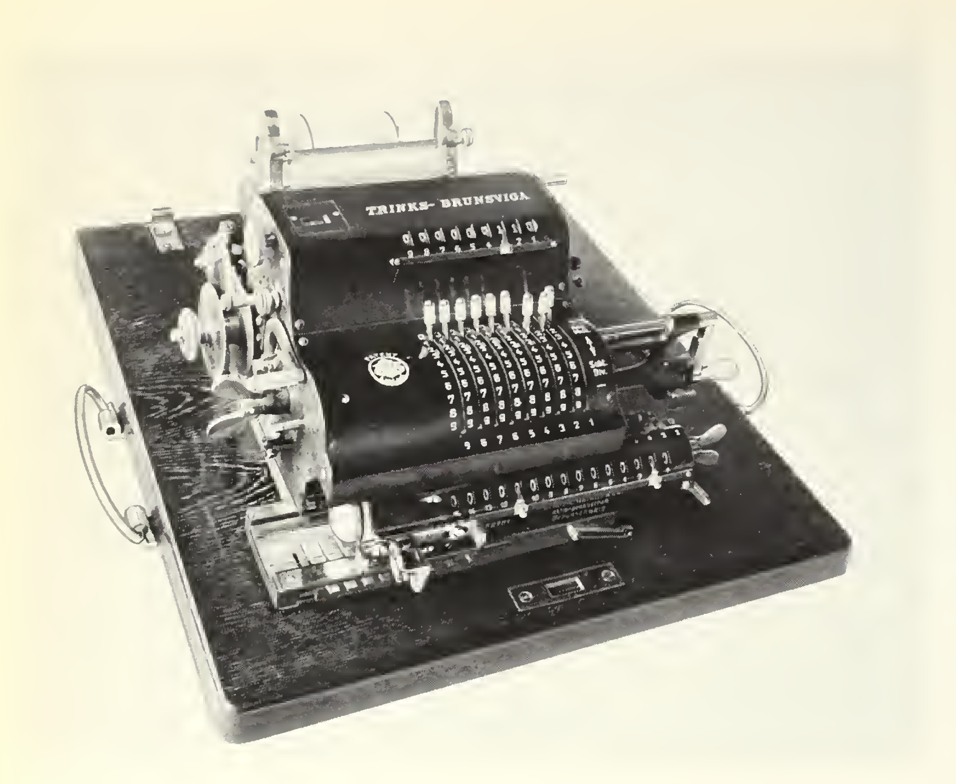


Abb. 31/1.2

Trinks-Brunsviga, Sprossenrad-Rechenmaschine (hier mit nicht umlaufenden Einstellhebeln) mit Streifendruckwerk, gebaut 1892 von der Firma Grimme, Natalis & Co in Braunschweig.

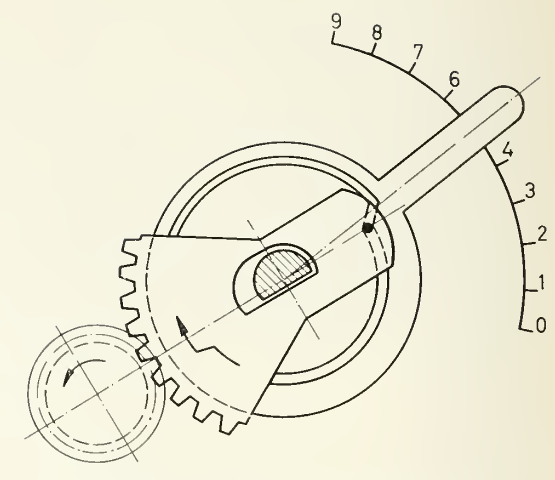


Abb. 32/1.2

Marchant-Prinzip der Rechenwerks-Steuerung: Ein Zahnsegment wird durch eine verstellbare, feststehende Leitkurve während des Umlaufs in Eingriff mit dem Zählwerkrad gebracht.

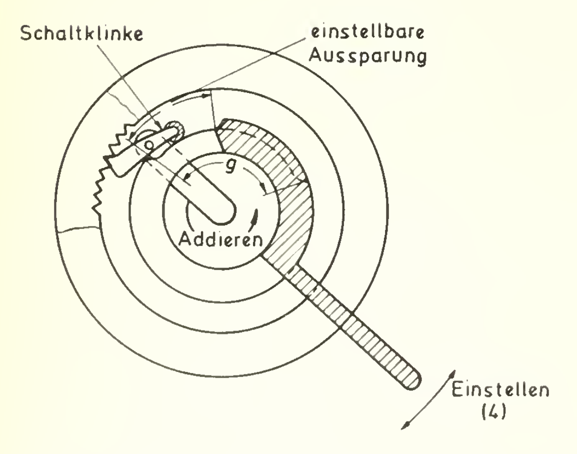


Abb. 33/1.2

Schaltklinken-Prinzip von Chr. Hamann 1925: Eine Schaltklinke, auf umlaufender Scheibe gelagert, wird durch eine verstellbare Einstellnocke bzw. -aussparung in Eingriff mit dem konzentrischen Abgriff-Zahnrad gebracht. Eingebaut in Hamann-DeTeWe-Rechenmaschinen.

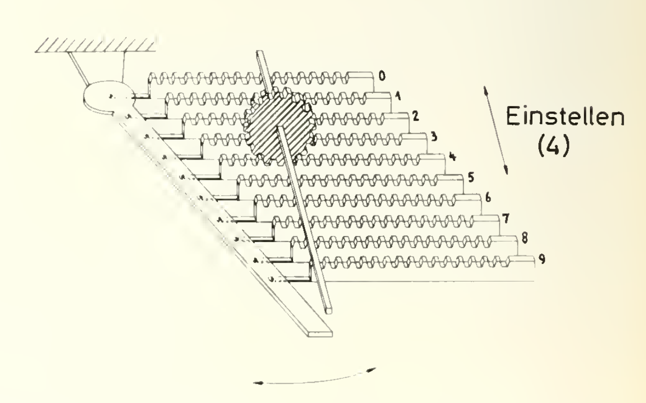


Abb. 34/1.2

Darstellung des Proportionalhebel-Prinzips von Chr. Hamann, 1905. Die in einem Parallelogramm gelagerten Zahnstangen werden bei Verschwenken des Antriebshebels um jeweils 0 bis 9 Zähne verschoben; das Abgriffzahnrad wird mit der gewünschten Zahnstange in Eingriff gebracht und um entsprechend viele Zähne mitgenommen: Eingriff nur beim Hingang der Zahnstange zählt in additivem, nur beim Rückgang in subtraktivem Sinn. Nach diesem Prinzip arbeiten die Mercedes-„Euklid"-Rechenmaschinen mit Volltastatur (ab 1913).



Abb. 35/1.2

Druckende Rechenmaschine mit direkter Multiplikation; von Prof. Selling, DRP 149564, gebaut von der Fa. H. Wetzer, Pfronten/Bayern, 1906.

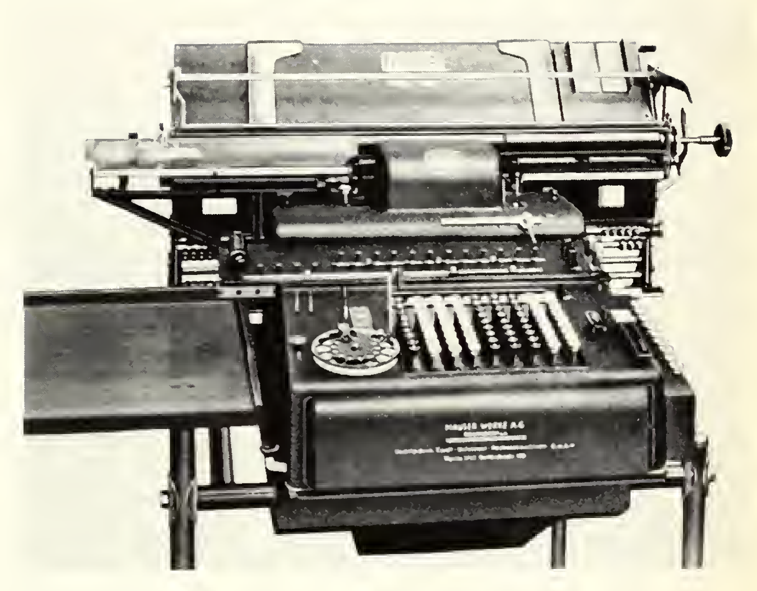


Abb. 36/1.2

Abrechnungsmaschine Mauser System Cordt

Kombination einer Archimedes-Rechenmaschine mit dem Druckwerk der Astra-Saldiermaschine und dem Buchungswagen des Buchungsautomaten ASTRA 52. Auch der Antrieb und die Speicherwerke waren die in Trommeln angeordneten Werke des Buchungsautomaten ASTRA 52. Die Verbindung zwischen den Rechenwerken und dem Druckwerk erfolgte durch Kegelräder, die eine Stufentrommel verdrehen und den Abgriffshub der Typenträger einstellen.

Die Wählscheibe diente bei diesem Spezialmodell für Sparkassen-Kontrollarbeiten der Einstellung von Speicherwerken bzw. Kurzkennzeichen.

Herstellung durch Mauser Werke AG, Oberndorf, Vertrieb durch Cordt-Universal-Rechenmaschinen GmbH., Berlin



Abb. 37/1.2

Fakturierende Buchungsmaschine Rheinmetall

Unterhalb der elektromechanisch betätigten Schreibmaschine ist das Gehäuse des Rechenwerkes, seitlich darauf die Steuerhebel und -tasten für Multiplikation, Zwischen- und Endsumme.

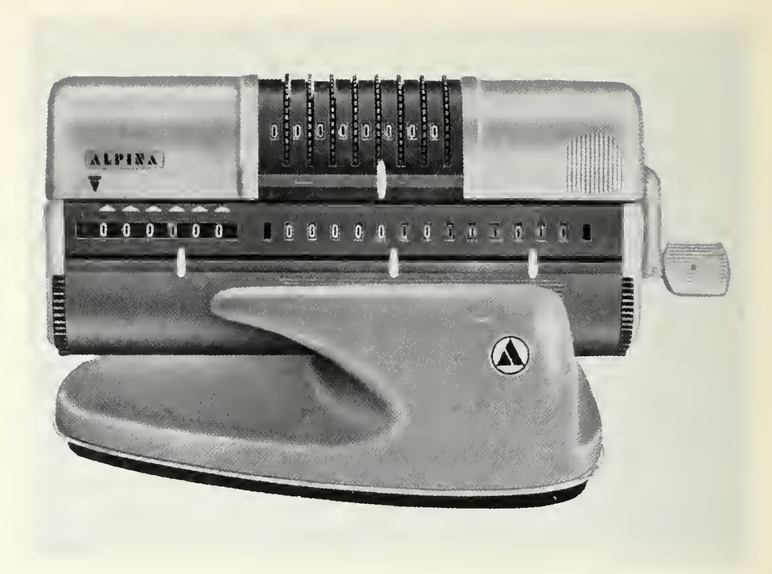


Abb. 38/1.2

Alpina-Kleinrechenmaschine

Das verschiebliche Einstellwerk ist in der oberen Hälfte der Maschine. Die Maschine kann auch aus dem Ständer herausgenommen und in der Hand bedient werden.



Abb. 39/1.2

Siemag- Multiquick

Elektrische Verkopplung einer Vierspezies-Rechenmaschine (Bäuerle-Badenia) mit einer Schreibmaschine; durch die beim Abtasten des Ergebniswerks erhaltenen Impulse werden über Magnete die Typenhebel angeschlagen. Rechenzahlen sind also in die Volltastatur der Rechenmaschine einzutasten.

Von anderen Herstellern wird das umgekehrte Prinzip befolgt, die in der Schreibmaschine eingetasteten Zahlen durch aufgesetzte Magnete auf die Tastatur der Rechenmaschine zu übertragen; hierbei muß das Ergebnis abgelesen und ausgeschrieben werden.



Abb. 40/1.2
ULTRA-Vierspezies-Rechenmaschine mit Druckwerk und Zehnertastatur, aus den Konstruktionsprinzipien der Addiermaschinen hergeleitet.



Abb. 41/1.2
LogAbax-Buchungsmaschine mit 198 direkt anrufbaren Speicherwerken und Druck auf Streifen oder Blatt.

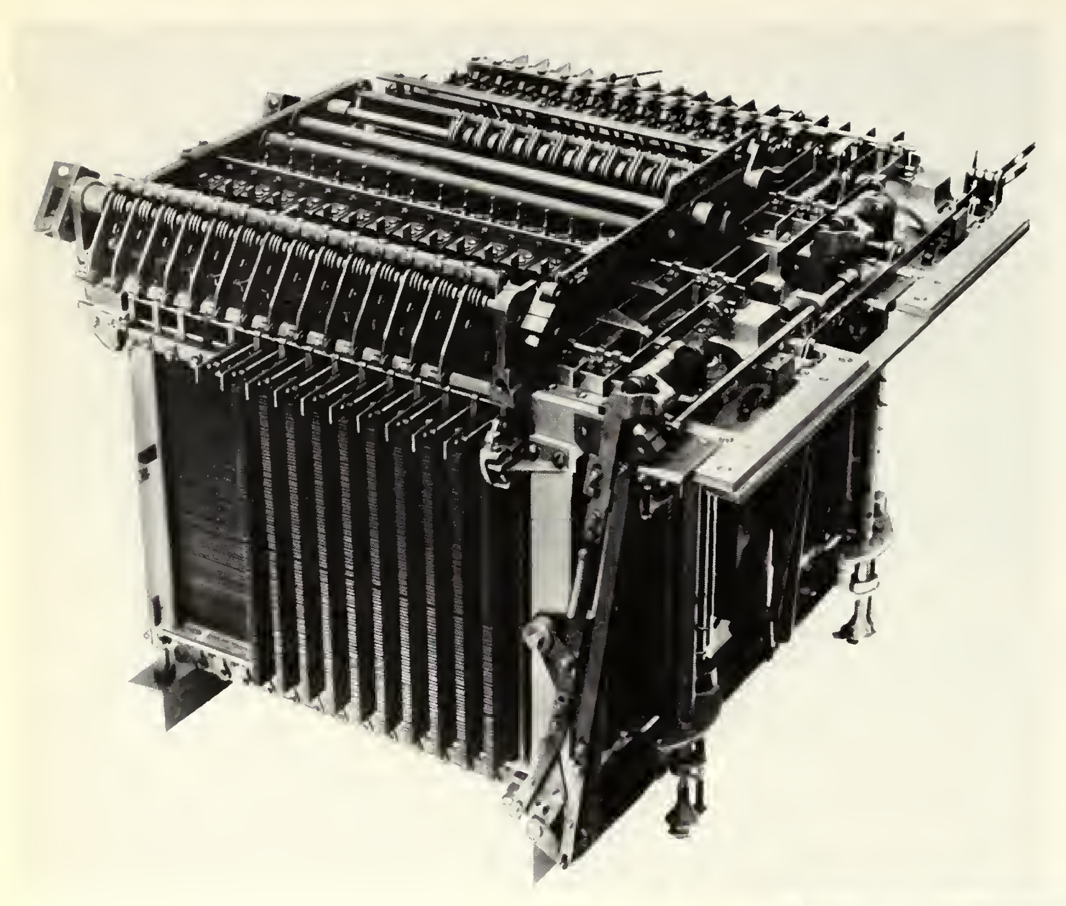


Abb. 42/1.2

Einer der beiden mechanischen Speicherblöcke der LogAbax, mit 99 Speicherwerken zu je 10 Stellen, als verschiebliche Zahnstangen ausgeführt.





Abb. 43/1.2

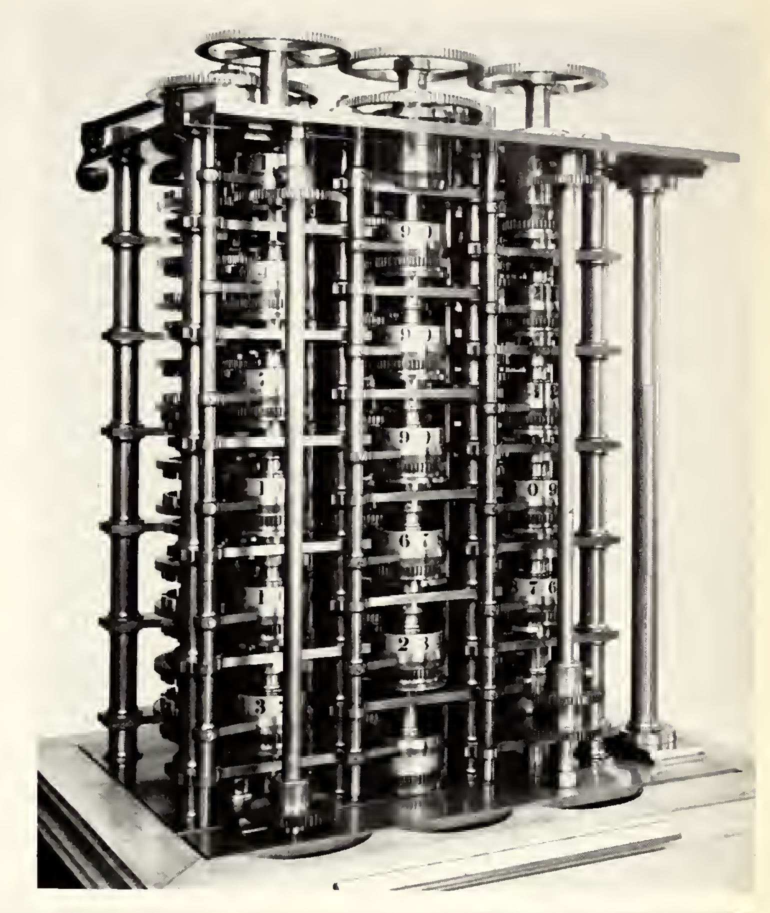
Zwei elektronische Tischrechenmaschinen:

1) ANITA, erste vollelektronische Rechenmaschine der Fa. Sumlock (Bell Punch Co.) 1961. Anzeige durch Glimmlampen mit Zifferndarstellung, Rechenschaltung mit Thyratron- (Kaltkathoden-) Röhren. (Steckeinheit einer Ziffernstelle siehe Abb. 21/8.1.3.2.)

2) IME 84, volltransistorisierte Tisch-Rechenmaschine für die vier Grundrechnungsarten. Kapazität 16 Stellen, mit automatischer Komma-Anzeige, Zehnertastatur und Rückübertragung; auf Wunsch auch mit gesondertem Tastenfeld zur Fernsteuerung. Anzeige mit Ziffernröhren aus drei Registern und einem Speicher. Industria Macchine Elettroniche SpA. (Edison) Rom, 1964

Abb. 44/1.3

Modell eines Teils von Babbages „difference engine" (entworfen 1822-1842); zur automatischen Addition von fünften Differenzen, mit Ergebnisdruckwerk geplant.



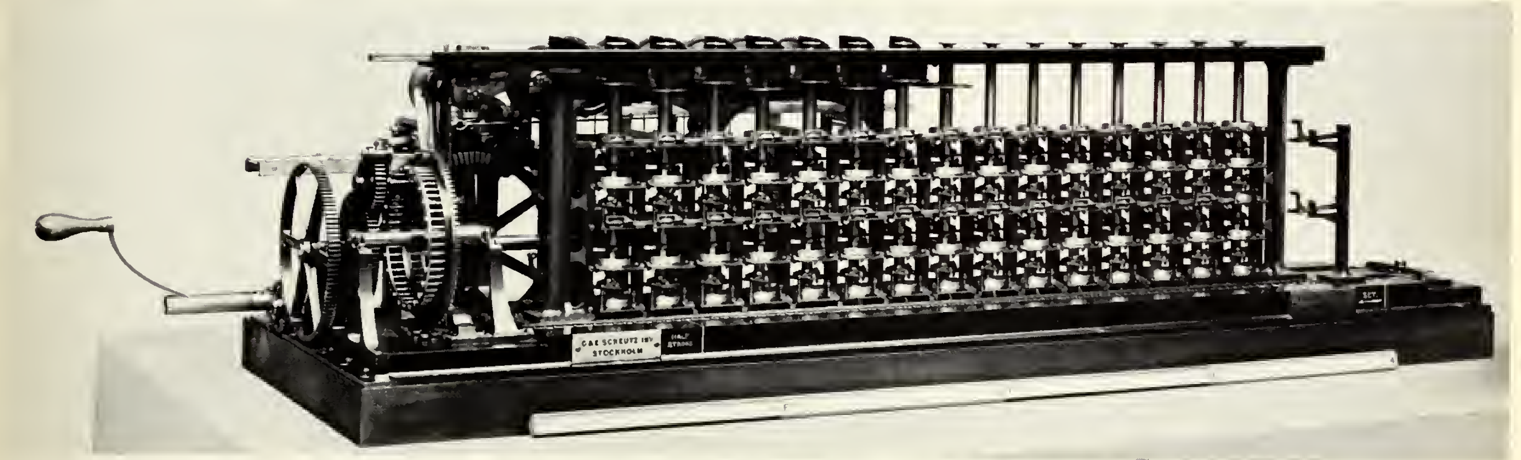
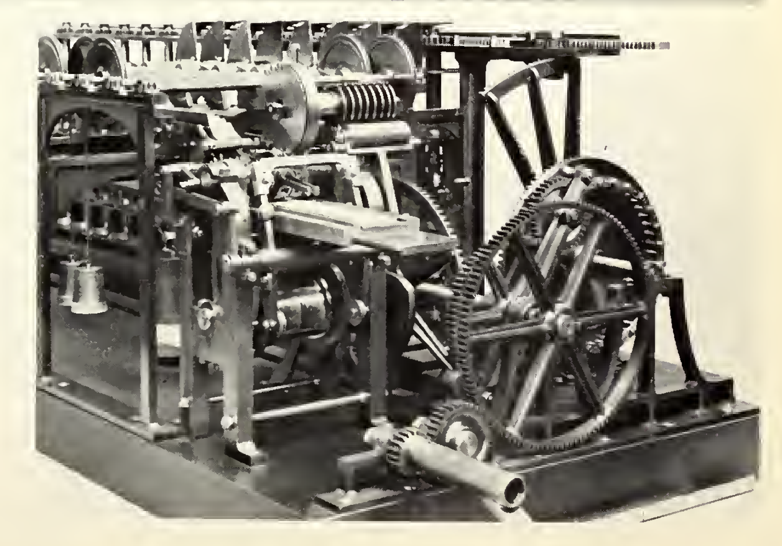


Abb. 45/1.3

Nachbau der „difference engine" durch G. und E. Scheutz (Schweden).

Abb. 46/1.3

Druckwerks-Teil der „difference engine" von G. und E. Scheutz.



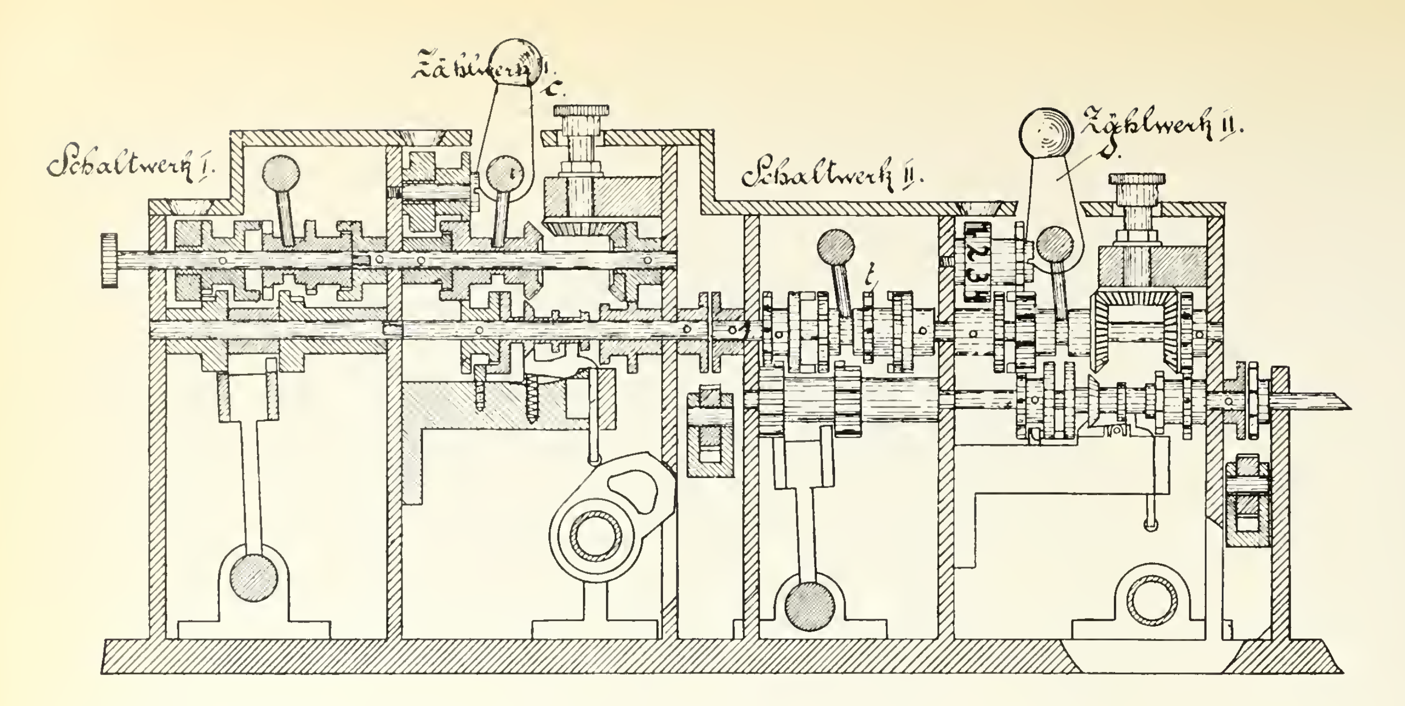


Abb. 47/1.3
Chr. Hamann: Differenzen-Maschine mit zwei Addierwerken und Druckwerk.
Aus: Galle, A., Mathemat. Instrumente, Teubner Vlg. 1912

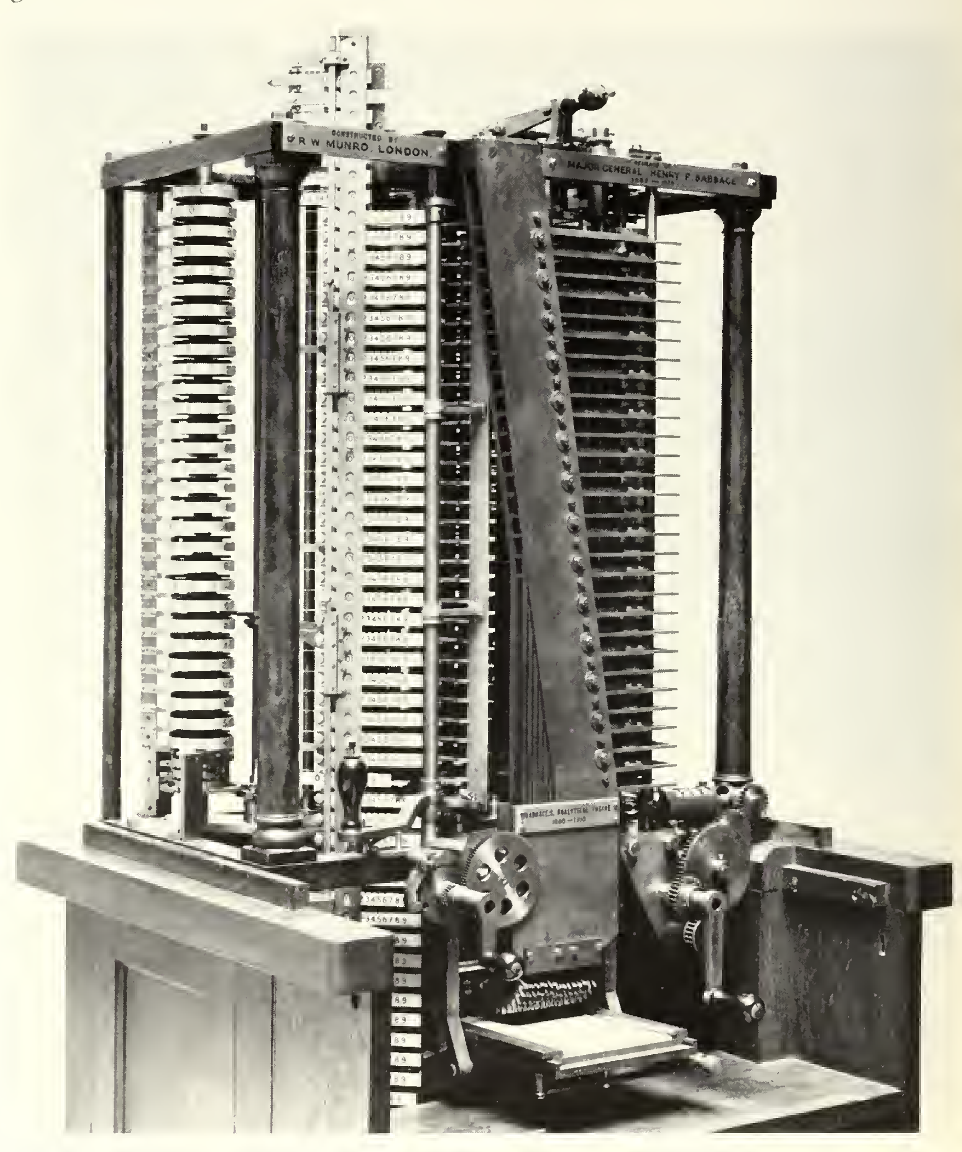


Abb. 48/1.3
Ch. Babbages „analytical engine", entworfen 1833, abgebrochen 1871, von dessen Sohn H. P. Babbage weitergebaut 1880-1910. Additions- und Druckwerk.

2 *Die Lochkarte als Programm- und Datenspeicher — dritte Wurzel der Datenverarbeitungstechnik*

Lochkarten und Lochkartenmaschinen wurden zuerst für statistische Auszählungen entwickelt, also für die Urform des „Datenverarbeitens“, doch auch bald für solche Büro- und Geschäftsvorgänge ausgenutzt, die viele gleichartige Sortier-, Summier- und Tabellieraufgaben in stetem Gleichmaß verlangen. Die daraus entstehenden Lochkartenrechner wurden eine der Grundsäulen auch moderner elektronischer Datenverarbeitung. Heute noch fällt es daher oft schwer, dem Gedankenschema „Daten verarbeiten — also zuerst Karten lochen“ zu entrinnen.

2.1 *Lochkarten automatischer Abläufe*

Die Lochung in einer Schablone als leicht und sicher abzutastendes und unveränderbares Merkmal fand zuerst bei der Steuerung von Webstühlen technische Anwendung. Um durch unterschiedliches Anheben der vielen Kettfäden ein Muster in den Stoff oder Teppich einzuarbeiten und zu wiederholen, versahen *Falcon* (1725—28) und der berühmte Erfinder von automatischen Spielfiguren J. de Vaucanson (1741) einen Webstuhl zuerst mit einer umlaufenden Blechtrommel mit Löchern, dann mit einem Lochbandprogramm aus aneinandergereihten Lochschablonen aus Karton als Programmspeicher (Abb. 1/2.1). Joseph Marie *Jacquard* vervollkommnete (1801—08) diese Erfindung und übernahm ihre industrielle Fertigung mit größtem Erfolg; 1812 waren bereits 11 000 solcher Webstühle in Betrieb (und brachten größte Not für die verdrängten Weber) (Abb. 2 — 4/2.1). Die Lochkartenfolge in Zickzack-Faltung fand bis in die neueste Zeit hinein Anwendung bei Musikautomaten (den Orchestrions der Jahrmärkte) und als breite Papierbandrolle bei elektrischen Klavieren, pneumatischen Schreibautomaten und selbst noch bei Rechenautomaten (s. Abb. 6/4.2 und 5 — 6/9.1.2). Auch *Babbage* plante 1832 in seiner „analytical engine“ (Abb. 48/1.3) eine Zahlen- und Programm-Eingabe mittels Loch-

karten-Band. In allen diesen Fällen hat jede Lochstelle ihre direkte Zuordnung zu einem Ton oder einem Zeichen; die Buchstaben werden bei Lochkarten im allgemeinen durch zwei Lochungen dargestellt. Nur einer der Hersteller von Lochkartenmaschinen kam zwecks besserer Ausnützung des vorgegebenen Lochkartenformates dazu, eine Verschlüsselung (Abb. 27/2.4) auch für die Ziffern serienmäßig einzuführen.

Die Idee der Programmsteuerung durch die Lochkarte und ihrer Verwendung als Datenträger ist die dritte Wurzel der modernen Datenverarbeitungstechnik — nach der zweiten, den mechanischen Zähl- und Rechenwerken, und der ersten, dem diese ermöglichenden denären Zahlensystem mit Stellenwertigkeit.

2.2 *Die Lochkarte als Zähl- und Zifferkarte*

Hollerith

Hermann *Hollerith* (Abb. 5/2.2), der Erfinder der Lochkarte, wurde am 29. 2. 1860 in Buffalo als jüngster Sohn des 1848 aus Speyer eingewanderten Gymnasialprofessors Joh. Georg Hollerith geboren. Er besuchte die Columbia-Universität und erwarb mit 19 Jahren das Diplom als Bergwerks-Ingenieur. Die Regierung stellte ihn als Sachbearbeiter für Fabrikationsstatistik und 1880—82 für die Bearbeitung der 10. Volkszählung an. Die unbefriedigende Art des manuellen Auswertens der Fragebogen veranlaßte ihn, nachträglich noch nach selbsttätigen Verfahren dazu zu suchen. Er entwarf die „Zählblättchen" (Abb. 6/2.2) einheitlichen Formates (in der Größe der damaligen 20 Dollar-Note), deren Lochungen je eine Antwort definieren. Nach längeren Versuchen erreichte er auch die brauchbare Form für die zugehörigen Lochstanzen (in Abb. 7/2.2) und Auswerte-, d. h. Zählmaschinen (siehe Abb. 9/2.3). Am 8. 1. 1889 erhielt er das Patent 395 782 auf die erste „Hollerith"-Maschine. Seine von Anfang an elektromechanisch arbeitenden Maschinen wurden zuerst bei Statistiken der Stadtverwaltungen Baltimore, New Jersey und New York erprobt und danach in großem Umfang 1890 zur 11. gesamtamerikanischen Volkszählung eingesetzt. Die mühsame Arbeit des Auszählens von 62 Millionen Fragebogen wurde jetzt in einem Bruchteil der Zeit und wesentlich zuverlässiger erledigt, als es von Hand bei den 50 Millionen im Jahre 1880 möglich war. 43 Zählmaschinen waren eingesetzt.

Ein für die Zukunft noch bedeutsamerer Schritt gelang Hollerith durch die Fortentwicklung des Zählblättchens zur dezimalen Lochkarte (Abb. 8/2.2.) in der bis heute fast einheitlich verwendeten Form. Hierdurch wurde es möglich, nicht nur Tatbestände, sondern auch Zahlen zu bearbeiten und nicht nur die Statistik, sondern auch das Buchen und Rechnen zu mechanisieren. Schon 1910 wurde beispielsweise in Deutschland die erste kaufmännischen Zwecken dienende Hollerith-Lochkartenabteilung bei den Farbenfabriken vorm. Bayer & Co. in Elberfeld eingerichtet (siehe Abb. 12/2.3). 1921 wurden Stecktafeln an Tabelliermaschinen vorgesehen, um die Lochspalten beliebig den Zählwerksstellen zuordnen zu können.

Literatur:
Beauclair, W. de: Hermann Hollerith. VDI-Nachr. 1960, Nr. 5.

2.3 *Entwicklung der Lochkarten-Statistik-Maschinen*

Im Jahre 1896 gründete Hermann Hollerith die „Tabulating Machine Company" in New York, die bis 1911 unter seiner alleinigen Leitung stand. Nach ihrer Fusion mit anderen Firmen zur heutigen „International Business Machines Corporation" IBM zog er sich von ihr zurück; am 17. 11. 1929 starb er in Washington.

1907 wurde in England die „British Tabulating Machine Co. Ltd." gegründet, die sich mit der Montage und dem Vertrieb von „Hollerith"-Maschinen befaßte (Abb. 13/2.3), und 1912 in Berlin die „Deutsche Hollerith-Maschinen-Gesellschaft", die weitgehend unabhängig vom Stammhaus eigene Entwicklungen betreiben konnte, und beispielsweise 1936 die berühmte Tabelliermaschine „D 11" mit Stecktafel-Programmierung (Abb. 16/2.3) herausbrachte.

Die Deutsche Hollerith-Maschinen-Gesellschaft änderte nach dem Krieg ihren Namen in IBM Deutschland. Ist somit zwar sein Name in keiner Firmenbezeichnung mehr erwähnt, so bleibt doch Dr. Hermann Hollerith als Erfinder der Lochkarte und der damit arbeitenden Maschinen einer der Wegbereiter eines neuen technischen Zeitalters: des der „Intelligenz-Verstärker".

Nachdem Hollerith die Fruchtbarkeit seines Gedankens bewiesen hatte, wurden von mehreren Konstrukteuren und an anderen Stellen ebenfalls Lochkarten-Statistikmaschinen gebaut: so bei der K. K. statistischen Zentralkommission in Wien, wo bereits 1890 die Volkszählungsdaten mit von Otto *Schäffer* gebauten Maschinen mit sensationellem Erfolg ausgewertet wurden. Diese Maschinen wurden 1895 für den laufenden statistischen Dienst eingesetzt, sowie 1895 in Rußland und 1896 in Frankreich eingeführt.

Powers

Während Hollerith von Anfang an elektrische Kontaktgabe durch die Lochung und elektromechanische Zähler verwendet hatte, baute sein früherer Mitarbeiter James *Powers* ab 1907 in den USA auch Statistikmaschinen in rein mechanischer Konstruktion, und gründete 1911 die Powers Accounting Machines Co., die ab 1912 horizontale Sortier- und Tabelliermaschinen baute. 1914 entstand in Berlin eine Vertriebsgesellschaft; 1919 wurde in England eine „Powers-Gesellschaft" gegründet und 1929 mit einer inzwischen in Paris etablierten Vertriebsgesellschaft SAMAS verschmolzen. Diese Firma wandte sich auch kleineren Kartenformaten mit 40 und 21 Stellen (Abb. 24/2.4) zu und baute frühzeitig numerische und alphanumerische Schreiblocher mit Tastatur (1921 und 1923); ihr Berliner Zweigwerk lieferte 1935—39 eine Verbindung zwischen mechanischer Vierspezies-Rechenmaschine („Hamann Selecta") und einer Lochkartenmaschine als „Druckender Rechenlocher" 309 (siehe Abb. 29 u. 30/2.5). Powers/USA wurde 1927 von der Firma Remington Rand übernommen; in England schließen sich 1959 die British Tabulating und Powers-Samas zur Firma ICT zusammen, die 1963 auch die inzwischen durch Entwicklung von Elektronenrechnern bekannt gewordene Computer Divison der Fa. Ferranti Ltd. aufnimmt.

Andere mit der Entwicklung von Lochkartenmaschinen verknüpfte Namen sind *Gore* (ab 1895) und *Pierce* in den USA, *Stuivenberg* in Holland, der die IBM-Entwicklungen befruchtet, und Frederik Rosing *Bull* (Abb. 17/2.3) in Norwegen, mit dessen Patenten schließlich 1931 die „Cie. des machines Bull" in Paris ihre Laufbahn beginnt.

Tauschek

Gustav *Tauschek* entwickelte in den Jahren bis 1930 eine spezielle Lochkarten-Buchungsmaschine (Abb. 19 u. 20/2.3) und eine dazugehörende Verbund-Lochkarte (Abb. 21/2.3) (Lit: Privatdruck „Die Lochkarten-Buchhaltungsmaschinen meines Systems", Wien, Nov. 1930), die sich von den damaligen Statistikmaschinen wegen der anderen Aufgabenstellung stark unterscheidet.

Diese Lochkarte für 60 Stellen wird nur in einer oberen Hälfte gelocht, so daß — wie heute etwa bei Lochstreifenkarten und

beim *„Perf-O-Data"*-System von Cummins/Chicago (siehe Abb. 28/2.4) - der restliche Teil beschreibbar und als Beleg verwendbar ist. In jeder Ziffernstelle werden so viele Löcher gestanzt wie die Ziffer angibt; das ergibt einfache Auswertung durch magnetisch impulsierte Zählwerke und auch leichte Lesbarkeit.

Neben einem auch mit einer Schreibmaschine elektrisch verkoppelten Lochstanzer baute Tauschek eine Sortiermaschine mit einer Leistung von rd. 20 000 Karten/Std., eine Buchungs- und Rechenmaschine mit 75 Zählwerks- und Druckstellen, eingerichtet für alle vier Rechnungsarten, Queraddition, Nachstanzen der Ergebnisse in die Faktorenkarte oder in eingemischte Speicherkarten, Duplizieren auf Folgekarten, Numerationslochung und mit eingebautem Druckwerk für Adreßplatten — wobei Karten und Platten in gleicher Folge liegen müssen; ferner eine Mischmaschine und eine kleine Addiermaschine mit Hand- oder Stapeleingabe der Lochkarten. Die Leistung der Anlage war etwa 4000 Karten/Std. Übrigens erfolgte das Multiplizieren durch mehrfaches Ablesen des zweiten Faktors mittels einer oszillierenden Bürstenbrücke, wodurch er für jeden abgetasteten Lochimpuls des ersten Faktors einmal in die Zählwerke eingelesen und addiert wird.

Die Lochkarten-Buchungsmaschine war durch eine Stecktafel zu schalten; die Loch- und Zählwerksstellen waren damit beliebig zu verbinden. Diese Maschine nahm also vor 1930 vieles voraus, womit Lochkartenmaschinen z. T. erst nach 1945 ausgerüstet wurden. Die Produktion der Maschinen wurde jedoch nicht aufgenommen.

Tauschek hatte über seine Lochkartenmaschinen etwa 33 Patente und Anmeldungen in Österreich, Deutschland, England, Frankreich, den USA und anderen Ländern.

Andere Entwicklungen

Die deutsche Dienststelle „Maschinelles Berichtswesen" veranlaßte um 1940 die deutschen Büro- und Lochkartenmaschinenhersteller, in Gemeinschaftsarbeit neue einheitliche Maschinen zu entwickeln; als Grundlage war eine dreireihig mit 6-Spur-Loch-Code (siehe Abb. 27/2.4) belegte Karte vorgesehen. Nach diesem Plan entstand beispielsweise auch eine schnelle Lochkarten-Kamera zum Aufnehmen der Klartextkopfzeilen der Karten auf Film, welche ein Auslisten und den komplizierten Druckmechanismus dazu unnötig machen sollte; sie erreichte im Prototyp 36 000 Zeilen/Std (Abb. 22/2.3).

Die Firma Wanderer entwickelte ferner um 1940 für eine Amsterdamer Bank ein eigenes Lochkartenmaschinen-System („Kamatek") mit einer Tabelliermaschine für 9000 Karten/Std und einer Sortiermaschine für 36 000 Karten/Std — damals eine beachtliche Leistung.

Alle diese Entwicklungen, so aussichtsreich sie begannen, kamen durch die widrigen Umstände (unter denen auch die deutsche Entwicklung eigentlicher Rechenautomaten bei Zuse zu leiden hatte) nicht zur Fortführung, so daß die fortschrittlichen Gedanken bis heute, über etliche Jahrzehnte, noch nicht voll realisiert sind.

2.4 *Ausführungsformen von Lochkarten*

Die 80-stellige Lochkarte (Abb. 23 u. 25/2.4), die außer von Hollerith-IBM auch von den Firmen Bull, ICT, SAM (UDSSR) und VEB Büromaschinenwerk Sömmerda und teilweise auch von Remington verwendet wird, trägt schmal-rechteckige Lochungen zur Abtastung in Spaltenrichtung mit kontaktgebenden Schleifenbürsten. Wie bereits erwähnt, werden die Ziffern direkt — im 1-aus-10-Code — eingelocht, die Buchstaben und Zeichen werden durch Löcher in den beiden zusätzlichen Lochzeilen (11 und 12) gekennzeichnet.

Neben der normalen Ziffernkarte wird auch eine mit entsprechendem Aufdruck und ergänzendem Klartext versehene Karte als „Verbundkarte" (Abb. 28/2.4) direkt als Beleg verwendet, z. B. als Scheck. Der ausstellende Betrieb locht alle im voraus bekannten Nummern und Beträge sogleich ein; der verarbeitende Empfänger des Beleges kann ihn in seinen Lochkartenmaschinen ohne weiteres (ggf. nach Einstanzen der eingeschriebenen variablen Daten) zur Buchführung heranziehen.

Die „Zeichenlochkarte" erlaubt, von Hand an vorgezeichnete Stellen der Karte magnetisierbare Ferrit- oder stromleitende Graphit-Striche einzufügen. Dies erleichtert beispielsweise, die vorgelochte Kundenkarte eines Stromversorgungs-Unternehmens als Verbrauchs- und Rechnungskarte zu benutzen: der Ableser markiert nur noch von Hand den Zählerstand. Diese Daten werden in der Zentrale nach den abgetasteten Strichmarken selbsttätig maschinell in die gleiche Karte gestanzt, dann die Differenz der Zählerstände, d. h. der Verbrauch, und danach der zu zahlende Rechnungsbetrag errechnet. Aus diesem Verfahren ergibt sich ein Übergang zum *„Beleglesen"* (siehe Abschnitt 9.1.5), wenn die Strichmarken nicht

zum Ausstanzen der gleichen Karten dienen, sondern zum Lochen von Streifen (siehe auch Leo/ICT-Belegleser, ab 1961, Abb. 14/9.1.5), oder wenn die Strichmarken-Informationen zum Sortieren der Belege herangezogen oder sogleich in die Rechenanlage eingegeben werden.

Eine Lochkarte mit leicht vorgestanzten Lochpositionen macht es möglich, die gewünschten Lochungen mit der Hand z. B. einem Bleistift oder besser mit einer einfachen Hilfsvorrichtung (IBM-*Port-A-Punch*) vollends herauszudrücken; solche Karten lassen sich zur dezentralen Datenerfassung zweckmäßig verwenden, beispielsweise zur Kennzeichnung entnommener Waren. Eine außergewöhnliche Karte trägt in jedem vorgestanzten Zeichenfeld das Bild des Objektes, dessen Vorkommen statistisch erfaßt werden soll; so wird ohne umständliches Nachblättern in Namen-Nummern-Listen die Karte richtig ausgelocht.

Alle diese Abwandlungen der normalen Lochkarte verfolgen den Zweck, das mühsame, personalaufwendige und fehleranfällige Lochen der Karten zu vermeiden bzw. auf die Stellen abzuwälzen, welche die Daten ohnehin irgendwie erfassen und aufschreiben müssen. Dadurch wird die Lochkarte, deren Erstellung sich sonst nur dann rentiert, wenn die Daten mehrmals abgetastet und ausgewertet werden müssen, auch für die Zwecke der elektronischen Datenverarbeitung wettbewerbsfähig, wo sie nur zur einmaligen Dateneingabe dient.

Die ursprünglich 45-stelligen Karten des Powers-Systems (jetzt Remington Rand) (Abb. 24/2.4) wurden mechanisch mit Fühlstiften abgetastet; die meist erforderliche Umordnung der Lochstellen auf die Zählwerksstellen erfolgte mit flexibel geführten Druckdrähten (Bowdenzügen) in einer auswechselbaren „*Leitkammer*" (Abb. 15/2.3. und 7/9.3). Die Lochungen sind rund; die deswegen größeren Lochabstände erlauben keine so hohe Spaltenzahl in der normalgroßen Lochkarte wie schmale rechteckige Löcher. Um gegenüber der elektrisch abgetasteten Karte doch wettbewerbsfähig zu sein, wurde die Karte in zwei Lochfelder für zusammen 90 Stellen unterteilt, was bedingt, daß die Ziffern nicht direkt dezimal, sondern in einem 6spurigen Code eingelocht werden, wobei die ungeraden Ziffern und die 0 durch ein Loch, die geraden Ziffern aus dem Loch für die nächstkleinere und einem Zusatzloch 9 wiedergegeben werden. Nach dem Powers-Vorbild arbeiten auch z. B. die Lochkartenmaschinen *ARITMA* (Prag). In einigen Anlagen können auch rein duale Informationen in Lochkarten abgetastet werden.

Aus der Entwicklung Powers-Samas rühren die *Kleinlochkarten* mit 40 und 21 Stellen her (Abb. 24/2.4), die wegen der geringen Kosten für Karten und Maschinen sehr rationell sein können, wenn die begrenzte Datenkapazität genügt. Eine Kleinlochkarte (Abb. 25/2.4), aber mit doch 80 Stellen wurde um 1960 vorübergehend auch von IBM auf den Markt gebracht in Verbindung mit einer Serie von Lochkartenmaschinen (Typ 3000), welche klein, preiswert und zweckmäßig waren; diese Ausrüstung wurde allerdings bald wieder zurückgezogen.

In neuerer Zeit bahnt sich eine neue Abwandlung der Lochkarte an, die ebenfalls, wie die Zeichenlochkarte oder die vorgestanzte, zum Ziel hat, das Ablochen der Daten zu verbilligen und mit marktgängigen und bürogerechten Geräten zu erleichtern: die Lochrand- oder *Lochstreifenkarte* (Abb. 26/2.4). Wenn die normalgroße Karte längs ihres Randes mit der 5-Spur-Lochung der Fernschreibgeräte oder der 8-Spur-Lochung der streifenlochenden Schreibmaschinen (z. B. Flexowriter Abb. 10/3.1.) mit 10 Zeichen/Zoll versehen wird, dann passen etwa 73 Zeichen auf diese eine Lochzeile. Solche Karten, die auch in Zickzackfaltung zusammenhängen und dann längere Datenfolgen aufnehmen können, lassen sich genau wie übliche Lochkarten zur Dateneingabe einsetzen, aber nicht sortieren; dieses ist aber von geringer Bedeutung, weil Elektronenrechner ohnehin besser und schneller intern sortieren können. Die Technik des Lochens in codierter Form erlaubt dagegen, nicht nur 80 oder 90, sondern wesentlich mehr Datenstellen einzulochen. Die vorerwähnte, leider nicht weiter verfolgte Entwicklung einer deutschen „Einheits-Lochkarte" erreichte so 192 Zeichen Kapazität (Abb. 27/2.4). Ferner ermöglicht die Streifenlochung in 5 bis 8 Spuren, den Rest der Karte zur Aufnahme von Text (ohne zwischen den Zeilen eingestreute Sortier-Löcher wie bei der Verbundkarte) oder von beispielsweise Filmtaschen zum Einschieben von Mikrofilmbildern freizulassen, was für Zwecke der Dokumentation u. dgl. recht zweckmäßig sein kann.

2.5 *Rechenlocher und Lochkartenrechner*

Die für die Statistik entwickelten Lochkartenmaschinen bürgerten sich nicht nur im Geschäftsleben immer mehr ein; sie wurden von den dreißiger Jahren an auch für wissenschaftliche Berechnungen angewendet, insbesondere für solche, bei denen viel Zahlenmaterial nach gleichbleibendem Rechenschema zu bearbeiten ist. Das bestärkte den Drang, bessere Rechenfähigkeiten als nur Zählen und Summieren in die Maschinen einzubauen. Auch das Fakturieren verlangt ja mindestens das Multiplizieren. Daher wurde begonnen, die Tabelliermaschinen mit Rechenwerken oder angeschlossenen

Rechenlochern auszurüsten. Etwa ab 1935 wurde bei der Fa. Powers in Berlin eine mechanische „Hamann-Selecta"-Vierspezies-Rechenmaschine (Abb. 29 und 30/2.5) mit einem Locher zur Type 309 zusammengebaut. Auch BULL baute um 1957 einen Rechenlocher Type 40.00 mit einem Sprossenrad-Rechenwerk, das über eine Stecktafel elektromagnetisch gesteuert wurde, — aber bereits auch einen Relais-Rechenzusatz ADS (zum Kartendoppler und zu Tabelliermaschinen), der etwa dreimal schneller arbeitete. In den USA entwickelte IBM eigene zuerst elektromagnetische Rechenwerke, z. B. IBM 602 A mit 16 Speicherwerken. Die schweizerische Remington Rand ließ sich 1949—53 von Zuse einen Relais-Rechner zum Ausbau eines Rechenlochers entwickeln (siehe Abb. 19/5.4.6). Der Rechenlocher ARITMA (Prag) arbeitet noch 1956 mit einem Relais-Rechenwerk und braucht zu einer Addition oder Multiplikation ca.0,1 s, zu einer Division 1,2 s, d. h. zwei Kartengänge. Der Elektronen-Rechenlocher IBM 604 (Abb. 31/2.5) kann bis zu 60 Einadreß-Programmschritte je Karte ausführen, der Elektronen-Rechenlocher 409 von Remington nur 40, hat jedoch Dreiadreß-Befehle.

Ein weiteres Beispiel für elektronische Rechenlocher ist der Powers-Samas *„Programme Controlled Computer"* PCC (Abb. 33/2.5), dessen Programm in Form von 4 Steckplatten mit bis zu 160 Zweiadreß-Befehlen wahlweise einzulegen und dauernd eingeschaltet war. Das dezimale Rechenwerk arbeitete in den vier Grundrechnungsarten und mit logischen Entscheidungen.

Zur Ein/Ausgabe dienten 65- oder 80spaltige Lochkarten, die auch doppelt dicht gelocht werden und also 130 bzw. 160 Dezimalstellen oder Buchstaben tragen konnten. Arbeitstakt war bis zu 2 Karten/s bei normaler, 1 Karte/s bei doppelter Belegung. Speicherkapazität war 160 Wörter zu 16 Dezimalstellen; eine Magnettrommel war zusätzlich vorgesehen.

Die elektronischen Schaltelemente waren in kleine, je 2 Röhren enthaltende Steckeinheiten zusammengefaßt.

Der *„Card Programmed Computer"* IBM-CPC ist unter den Rechenanlagen aufgeführt (Abb. 21/6.1), weil er nicht nur mit einer festgelegten Anzahl von Programmkarten — sozusagen als variable Schalttafel — ausgerüstet war, sondern für jeden Dreiadreß-Befehl eine Lochkarte einlesen, also beliebig lange Programme ausführen konnte.

Hiermit mündete also die Entwicklung der Lochkartenmaschinen in die der Rechenanlagen ein; die Grenze zwischen beiden Typen verwischte sich allerdings langsam, nachdem die elektronischen Rechenautomaten immer kleiner und die Rechenleistung der Lochkartenmaschinen immer größer wurden.

Die Lochkartenmaschinen selbst werden, als Ein/Ausgabestationen der elektronischen Datenverarbeitungsanlagen, deren Arbeitsleistung entsprechend immer schneller und dazu oft mit lichtelektrischer, serieller Abtastung und zum Teil auch als „Mehrfunktions"-Karteneinheiten gebaut, welche zusätzlich Doppeln, Mischen, Sortieren in 5 Fächern, Summenstanzen und Beschriften können (IBM 2560). Auf der anderen Seite werden Lochkarten auch mehr und mehr als Datenträger allgemein, z. B. als Mikrofilmträger oder Text- bzw. Adreßschablone benutzt, so daß für diese Anwendungen auch kleine Handgeräte zum Lochen, Sortieren und Selektieren entwickelt wurden.

Der wesentliche Vorteil der Lochkarten für Statistik und Datenverarbeitung lag ursprünglich darin, daß sie — einmal gelocht — immer wieder abzutasten sind, und vor allem aber auch darin, daß sie sortierbar sind, wenn die Lochung „quer" zur Längsrichtung der Karte abgetastet und daher jede beliebige Datenposition ausgesondert und zur Sortiersteuerung herangezogen werden kann. Die modernen elektronischen datenverarbeitenden Anlagen kennen jedoch preiswerte Massenspeicher und schnellere interne Sortierverfahren mittels Magnetbandspeicher und dgl.; die Lochkarte dient meist nur noch zur einmaligen unsortierten Eingabe der zu verarbeitenden Daten. Sie wird dazu — in Anbetracht des aufwendigen Lochens und Lochprüfens — im allgemeinen nicht rationell ausgenutzt, und der einfacher und mit preiswerten Bürogeräten zu erstellende Lochstreifen oder die Lochstreifenkarte spielt sich zur Daten- und Programm-Eingabe in den Vordergrund. Für die Eingabe von Buchungsdaten ist jedoch das Lesen der auf die Belege ohnehin aufzuschreibenden Original-Maschinenschrift weit vorteilhafter, weil so jeder zusätzliche fehlerbehaftete Arbeitsgang einzusparen ist. Die Hersteller von Lochkarten- und Rechenanlagen sahen sich daher gezwungen, auch Belegsortiermaschinen und Belegleser als Dateneingabemaschinen zu entwickeln (siehe 9.1.5).

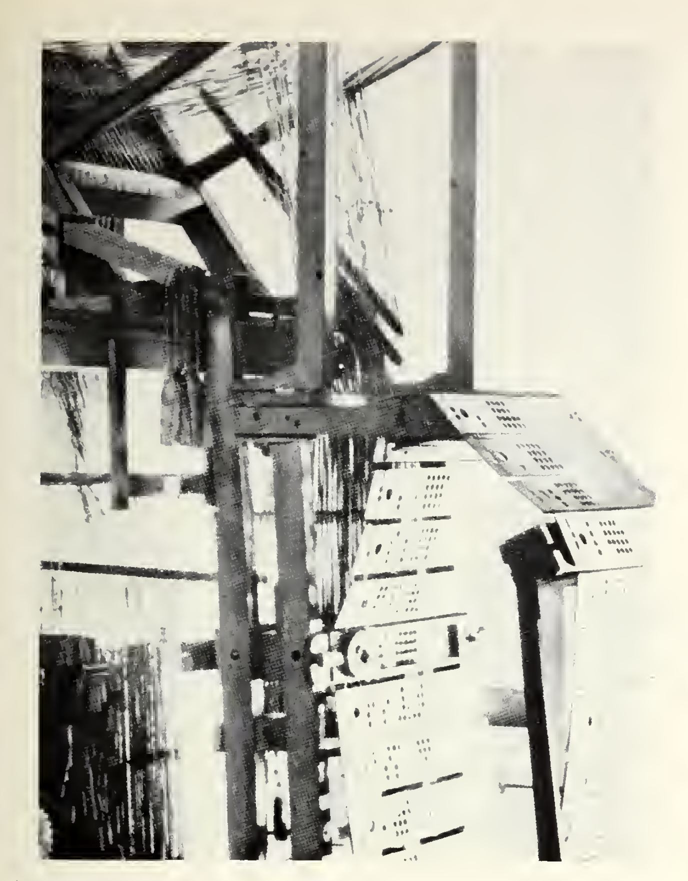


Abb. 1/2.1

Webstuhl von Falcon (1728)
Diese Konstruktion wurde weiterentwickelt von Ch. de Vaucanson und industriell hergestellt von Joseph Marie Jacquard. Vorher hatte schon B. Bouchon in Lyon eine Lochkarten-Steuerung bei der Garnherstellung verwendet (1725).

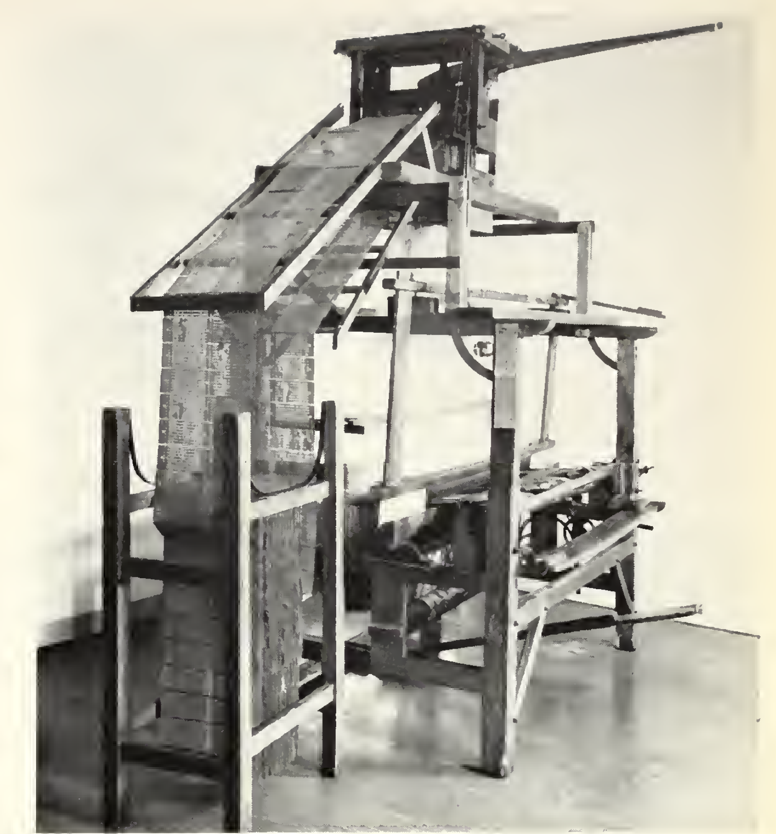


Abb. 2/2.1

Nördlinger Teppichwebstuhl mit Jacquard-Steuerung

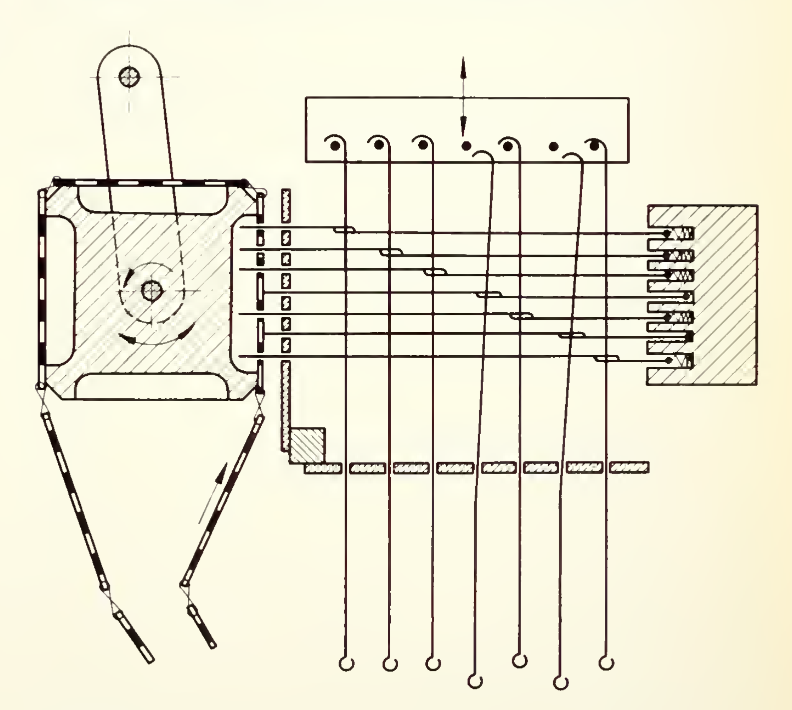


Abb. 3/2.1

Prinzip der Lochkarten-Steuerung des „Jacquard"-Webstuhls. Die waagrechten, gefedert gelagerten Stifte werden durch die von der vierkantigen Trommel transportierten und angedrückten Lochkarten zurückgedrückt, falls sie keine Lochung treffen, und nehmen in ihrer Öse die senkrechten Haken mit; der danach aufwärts gezogene Bügel nimmt nur die nicht derart ausgelösten Haken mit nach oben und zieht so das der Lochung entsprechende Muster von Kettfäden.

Das nebenstehende Prinzip des lochstreifengesteuerten Webstuhls wurde 1966 erneut angewendet zur Steuerung des Verdrahtens von „Read-Only"-Speicherblöcken, wobei für jede Operation eine Leitung durch einen Ferritring oder daran vorbei geführt wird (R. L. Alonso: Vintage Machine Produces Memories, electronics 1. 5. 67, S. 88–98). Siehe auch Abb. 71/9.3 bis 73/9.3.

Abb. 4/2.1
Versuchsmodell zur Erläuterung der Jacquard-Weberei



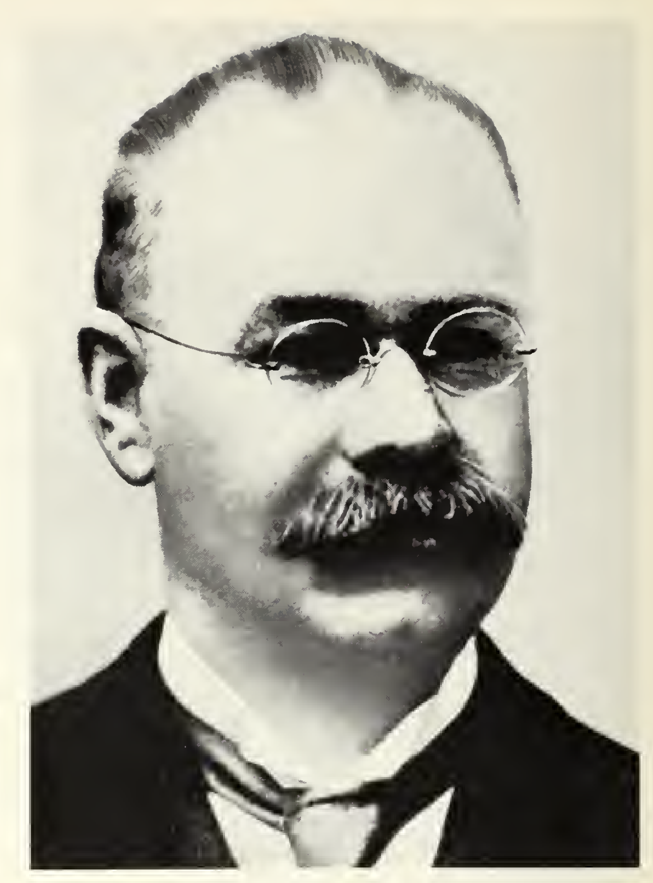


Abb. 5/2.2
Dr. Hermann Hollerith (29. 2. 1860 – 17. 11. 1929), der Erfinder der Lochkarte als Datenträger für statistische und kaufmännische Auswertung.

Alter	Stand	Beruf	Religion
bis 5 Jahre	ledig	Indust-Arbeit. ✓	prot. ✓
6-10 J.	verheir. ✓	Land-Arbeit.	kath.
11-20 J.	gesch.	Kaufm. Ang.	jüd.
21-30 J.	Zahl der Kinder	Leitd. kaufm. Ang.	andere Religion
31-40 J.	1 Kind	Staatsdienst	Mtl. Eink.
41-50 J. ✓	2 Kinder	Freier Beruf	bis 100 $ ✓
51-60 J.	3 Kinder ✓	andere Berufe	bis 200 $
61-70 J.	4 Kinder	Bürger Recht	bis 500 $
71-80 J.	5 Kinder	ja ✓	über 500 $
über 80 Jahre	mehr Kinder	nein	

Alter	Stand	Beruf	Religion
bis 5 Jahre	ledig	Indust-Arbeit. ●	prot. ●
6-10 J.	verheir. ●	Land-Arbeit	kath.
11-20 J.	gesch.	Kaufm. Ang.	jüd.
21-30 J.	Zahl der Kinder	Leitd. kaufm. Ang.	andere Religion
31-40 J.	1 Kind	Staatsdienst	Mtl. Eink.
41-50 J. ●	2 Kinder	Freier Beruf	bis 100 $ ●
51-60 J.	3 Kinder ●	andere Berufe	bis 200 $
61-70 J.	4 Kinder	Bürger Recht	bis 500 $
71-80 J.	5 Kinder	ja ●	über 500 $
über 80 Jahre	mehr Kinder	nein	

Abb. 6/2.2
So entstand aus dem Zählblättchen die erste Lochkarte.

PERSONENSTATISTIK	HAUSHALTUNGSSTATISTIK	WOHNUNGSSTATISTIK

Volkszählung 1910

Abb. 8/2.2

Volkszählungslochkarte aus dem Jahr 1910

Abb. 7/2.2
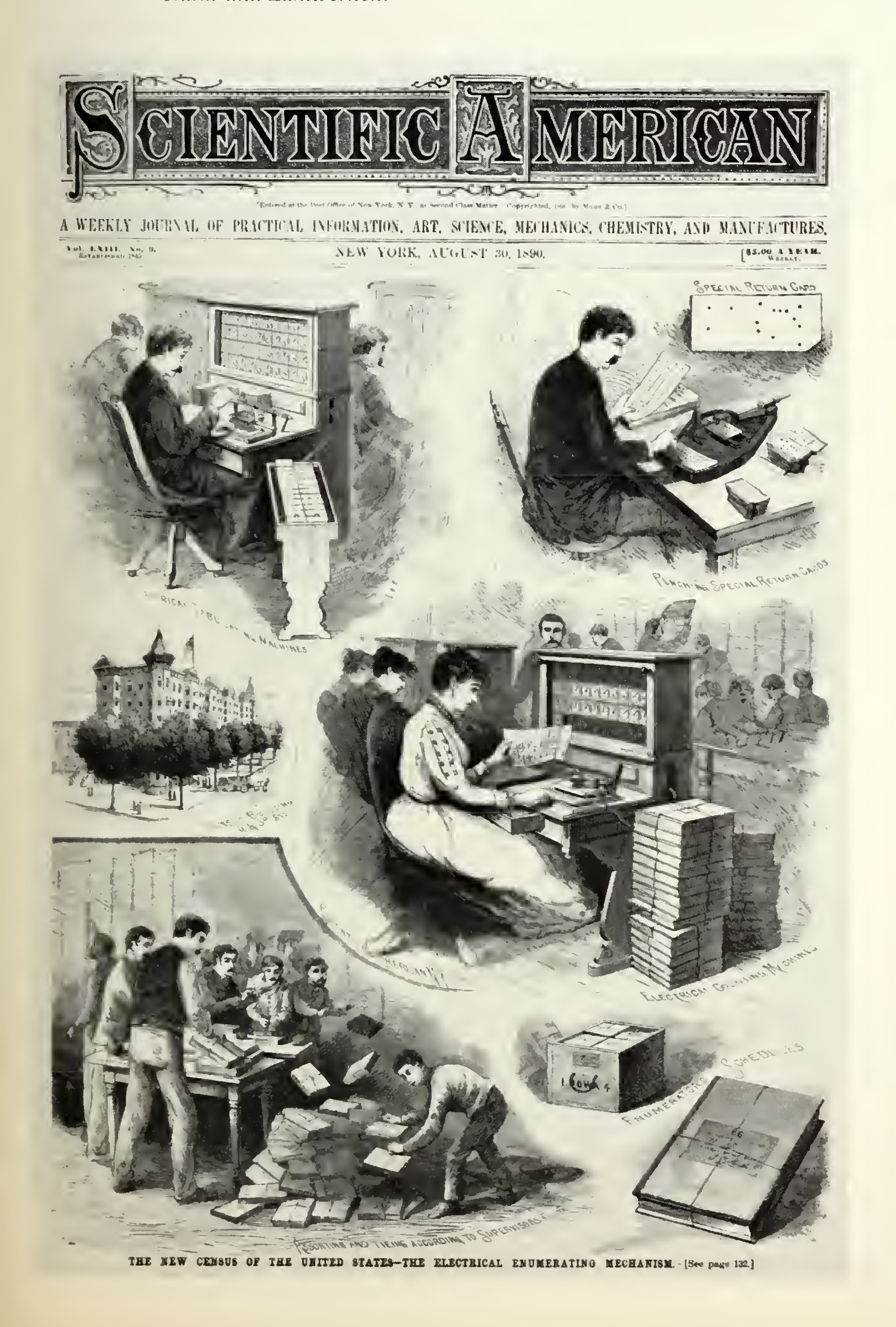
Die erste Verwendung des Hollerith-Verfahrens bei der 11. Volkszählung 1890 in den USA.

In diesem zeitgenössischen Holzschnitt ist dargestellt:

Oben links: Abtasten der Statistik-Karten mittels elektrischem Kontaktfeld (Quecksilbernapf) und Summieren der Zählergebnisse in elektromechanischen Zählwerken; die Karten werden von Hand in Sortierfächer abgelegt.

Oben rechts: Das Lochen der Karten.

In der Mitte: Auszählen von Fragebogen mit handbetätigter Tastatur und Zählwerken.



SCIENTIFIC AMERICAN

A WEEKLY JOURNAL OF PRACTICAL INFORMATION, ART, SCIENCE, MECHANICS, CHEMISTRY, AND MANUFACTURES.

NEW YORK, AUGUST 30, 1890.

[$3.00 A YEAR. WEEKLY.

THE NEW CENSUS OF THE UNITED STATES—THE ELECTRICAL ENUMERATING MECHANISM.—[See page 132.]



Abb. 9/2.3
Hollerith-Tabelliermaschine bzw. Zählschrank um 1890
Diese Hollerith-Anlage (siehe auch Bild 7/2.2) ermöglichte es, die Volkszählung von 1890 mit 62 Millionen Menschen in einem Drittel der Zeit zu erledigen, die 1880 für die Zählung von 50 Millionen benötigt wurde. Für jede Lochposition des Zählblättchens (Abb. 6/2.2) war ein elektromagnetisch betätigtes Zählwerk eingebaut, die „Kartenpresse" mit federnd gelagerten Kontaktstiften diente zum Abtasten der Zählblättchen; wo diese ein Loch hatte, tauchte ein Kontaktstift in den gemeinsamen Quecksilbernapf ein und schaltete sein Zählwerk um einen Schritt weiter. Die Karten wurden dann von Hand in das der Sotierfächer rechts eingeworfen, dessen Deckel elektromagnetisch geöffnet worden war.

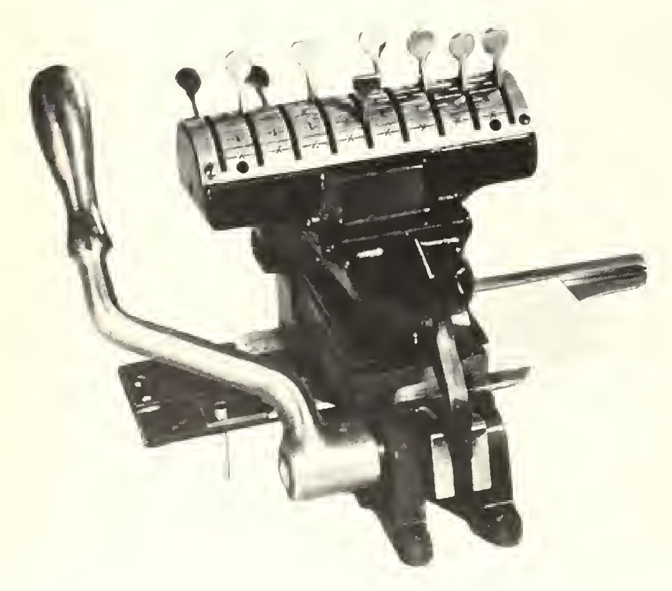


Abb. 10/2.3
Stapelstanzer mit Hebelbedienung (1914)
Zum Einstanzen konstanter Daten in eine größere Zahl von Karten.



Abb. 11/2.3
Vertikale Sortiermaschine mit 12 Fächern. IBM, um 1908
Die Lochkarten haben hierin noch runde Löcher.



Abb. 12/2.3

Erste Lochkartenabteilung bei den Farbenfabriken vorm. Friedr. Bayer & Co. in Elberfeld.

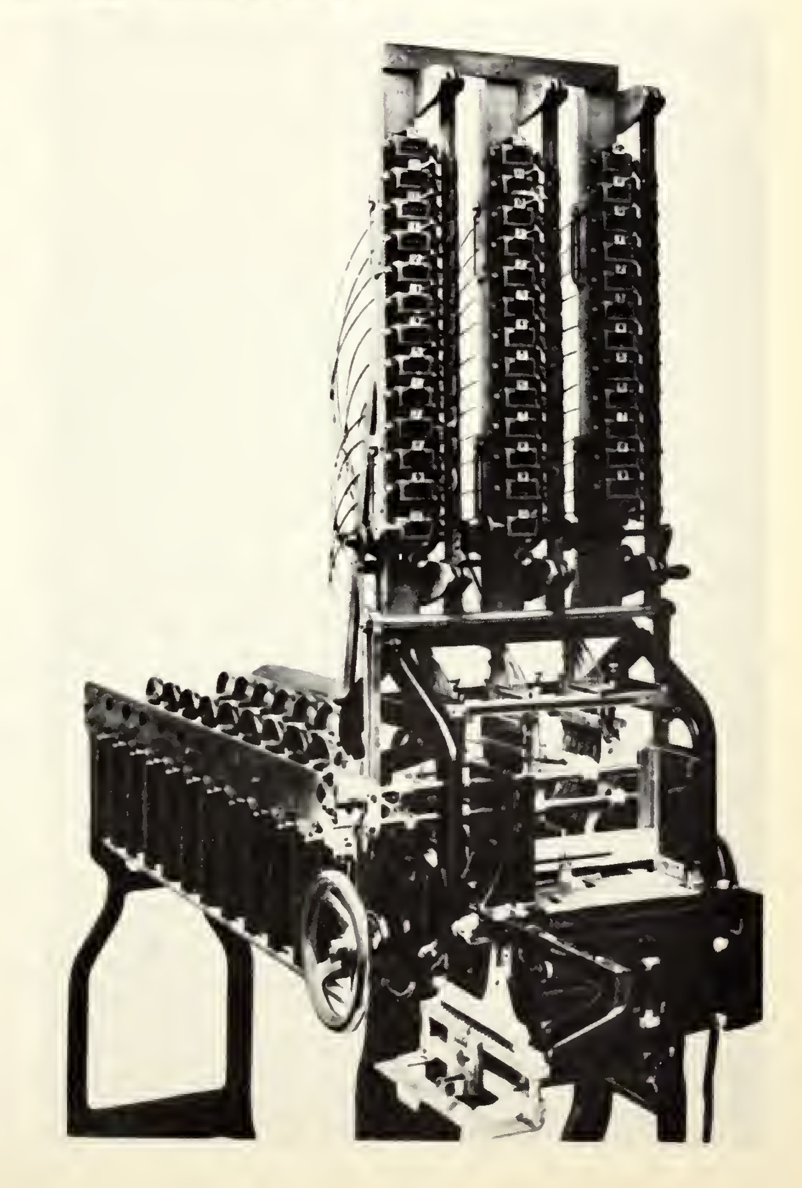


Abb. 13/2.3

Waagrechte Hollerith-Tabelliermaschine der British Tabulating Mach. Co.
Die Sortiermaschine mit 13 Fächern und Abtastung in drei Ziffernspalten hat offensichtlich mechanisch mit Bowdenzügen betätigte Zählwerke.

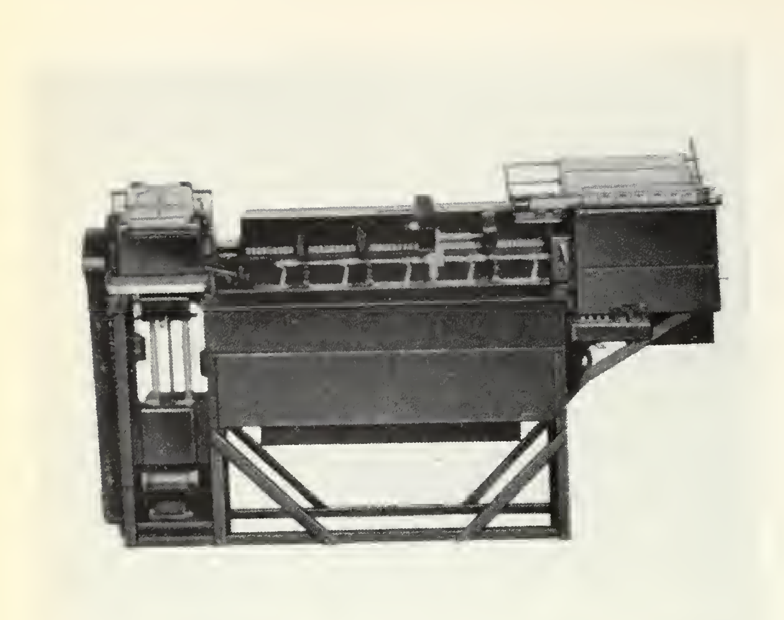


Abb. 14/2.3
Tabelliermaschine 3 B von IBM (1924)

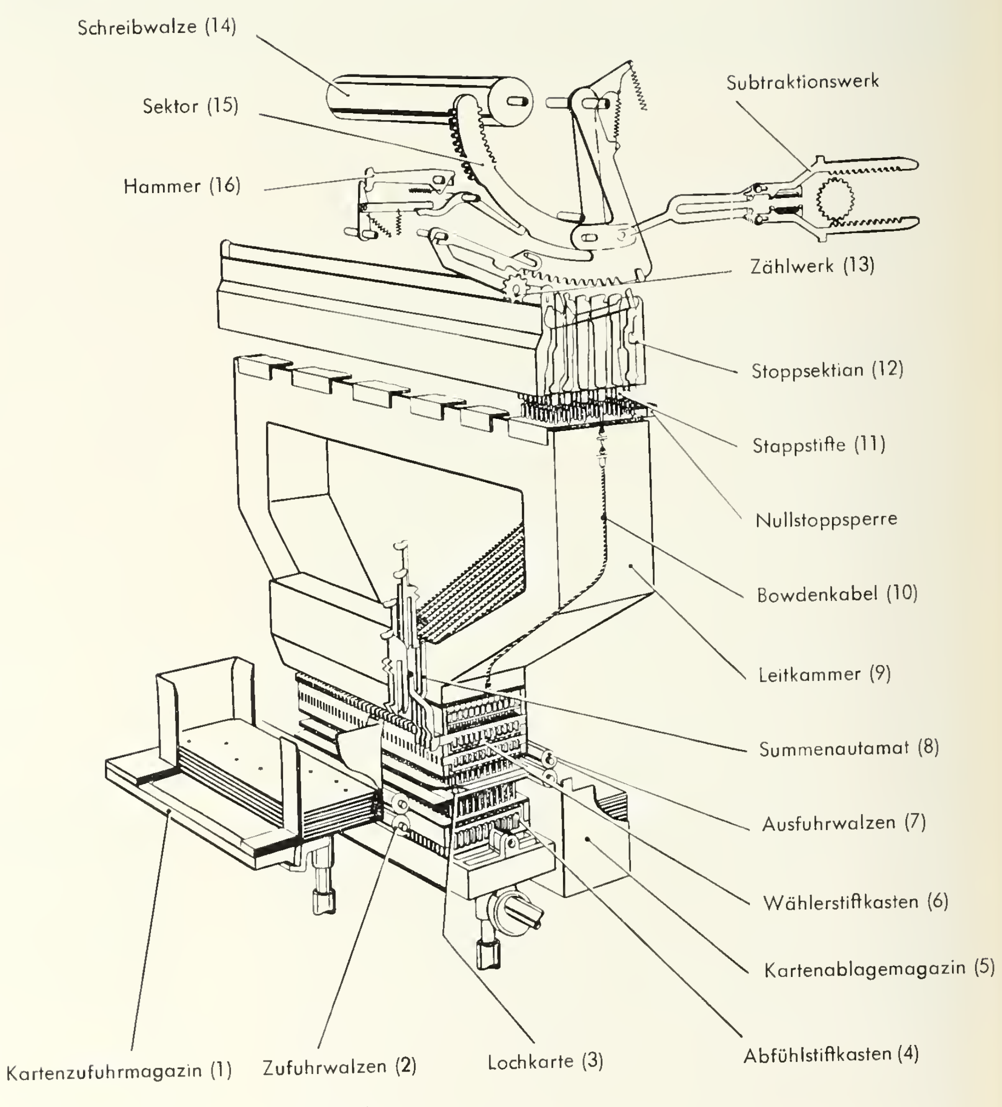


Abb. 15/2.3
Schematische Darstellung der mechanischen Abtastung und der Umordnung der Ziffern auf die Zählwerks- und Druckwerksstellen durch auswechselbare „Leitkammer" und Bowdenzüge. Remington Rand Tabelliermaschine Type 285 AN.



Abb 16/2.3

Tabelliermaschine D 11, von der Deutschen Hollerith Maschinen-Ges. in Berlin 1934 entwickelt, als erste mit variablen Verbindungen durch Steck-Schaltschnüre ausgerüstet. Die Stecktafel-Schaltvorlage siehe in Abb. 9/9.3, dort für eine D 11 mit Multiplikation, d. h. schon mit Rechenprogramm. Die Stecktafel befindet sich hinter der Türe links seitlich; darüber die Lochkarten-Eingabe. Rechts neben dem Druckwerk der Anzeiger für die Maschinentakte, rechts die Zählwerks-Anzeigen.

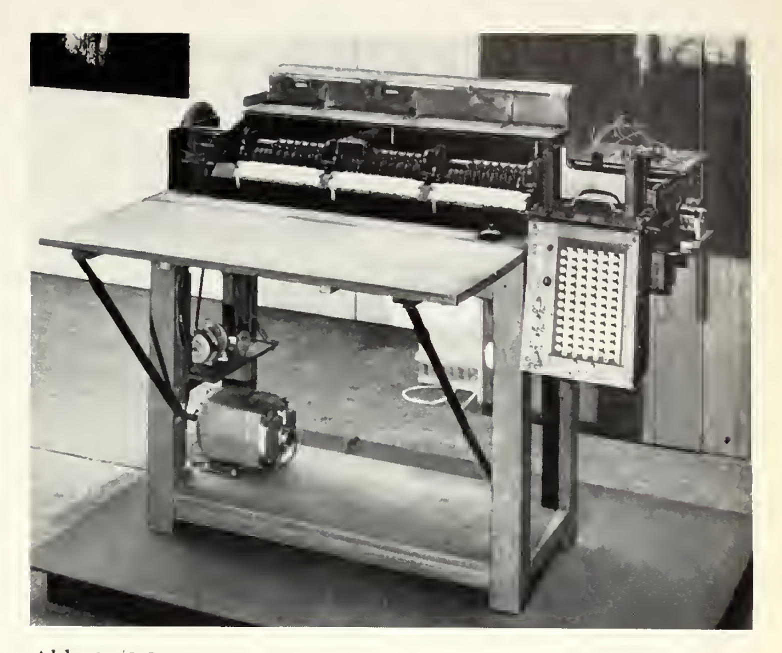


Abb. 17/2.3

Frederik Rosing Bull baute 1925 diese elektromechanische Lochkartenmaschine.

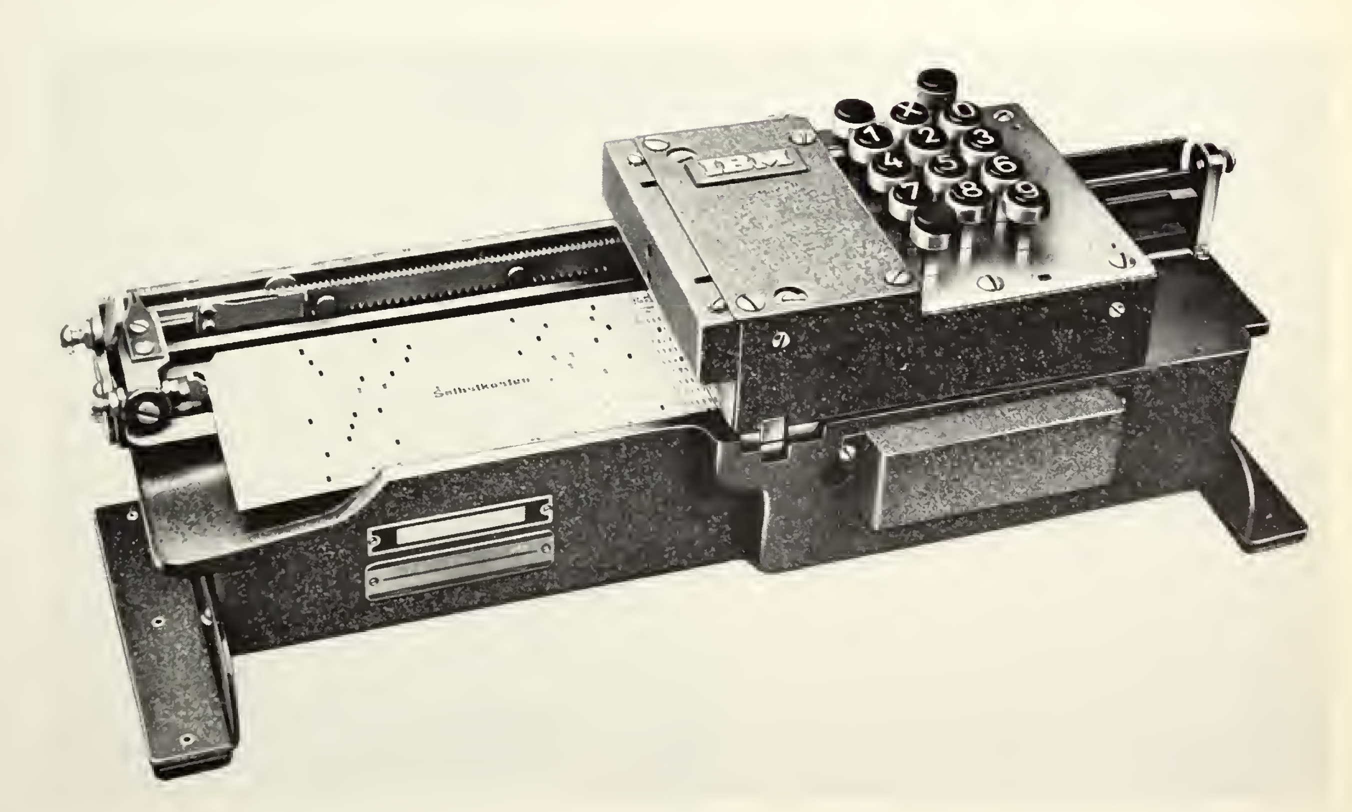


Abb. 18/2.3

Magnetlocher, das einfache und weit verbreitete tastengesteuerte Handgerät zum Lochen von Karten.
Ein verstärktes Modell vermag sogar dicke Plastik-Ausweiskarten zu lochen.

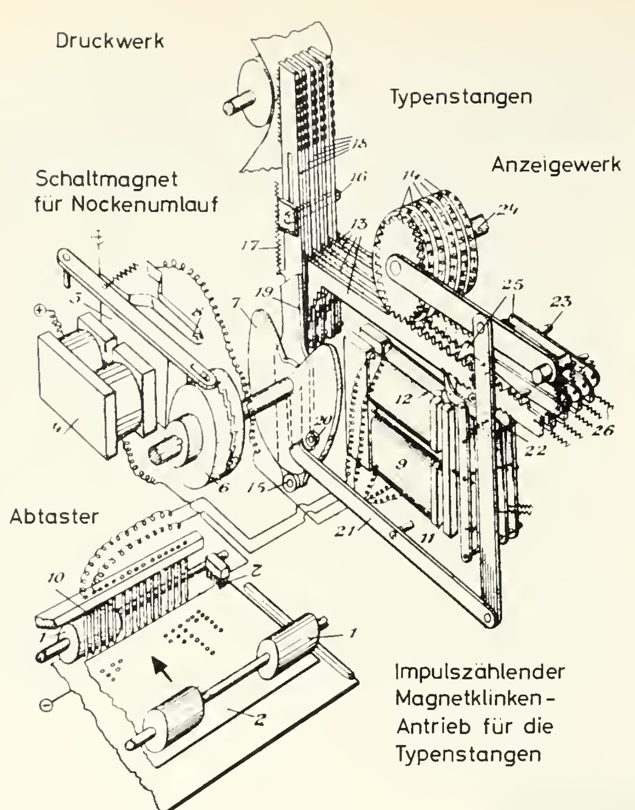
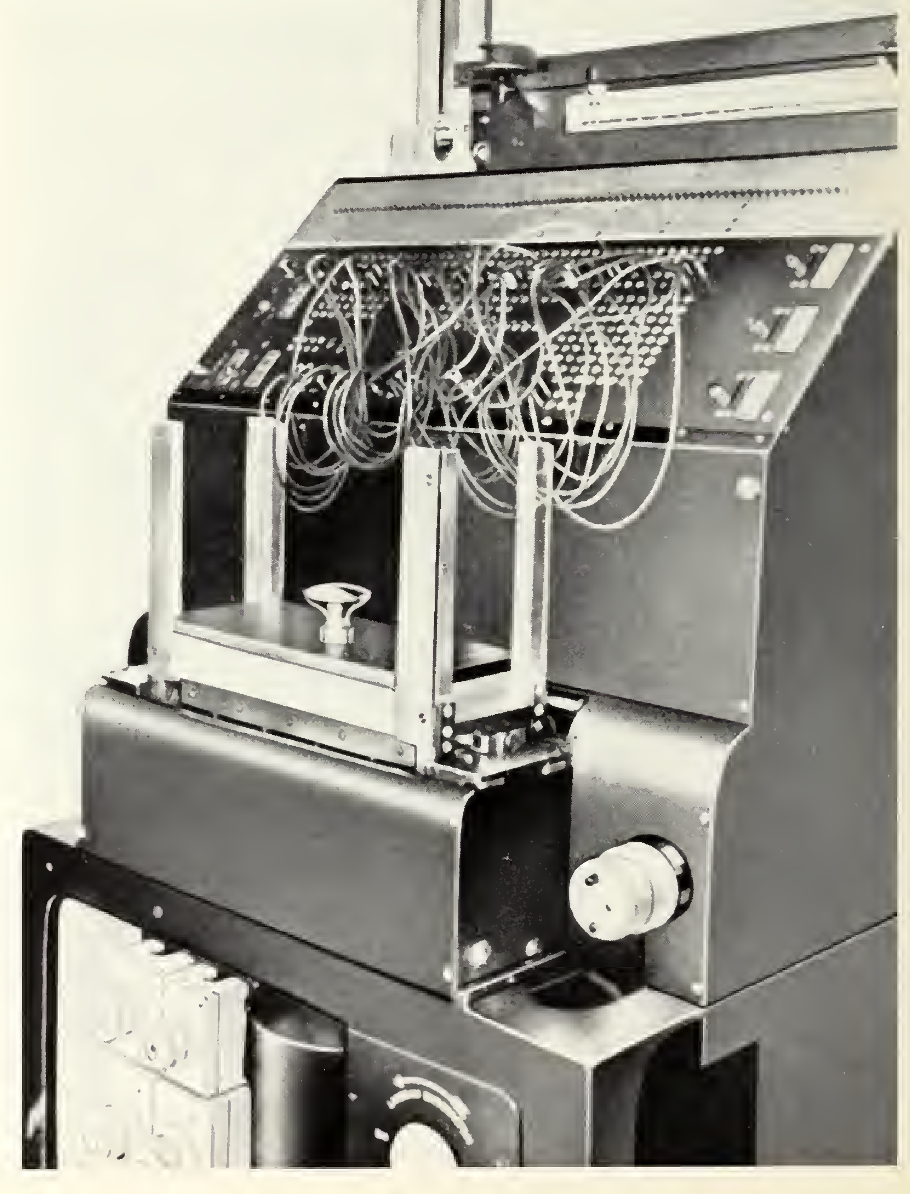


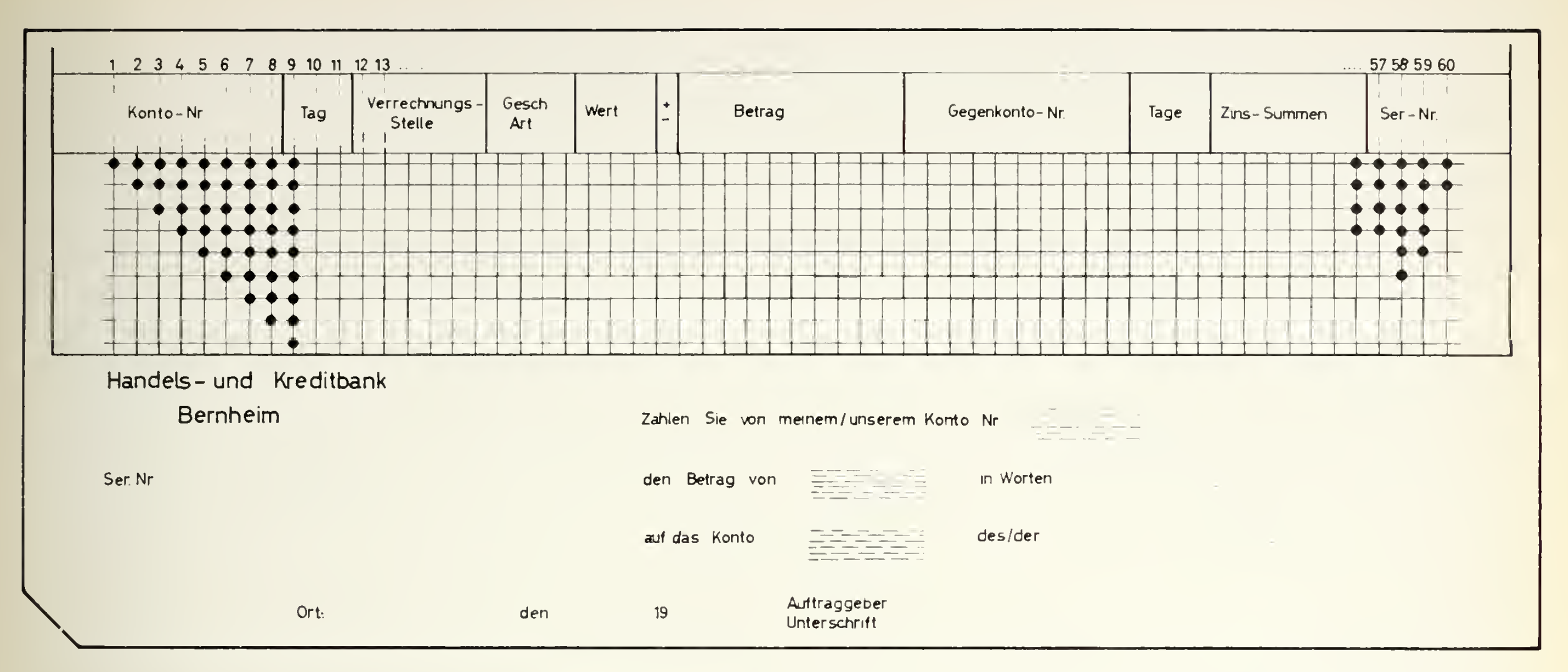
Abb. 19/2.3

Lochkartengesteuerte Tabelliermaschine nach Tauschek DRPat. 519 307 von 1930
Die Ziffern werden durch die entsprechende Anzahl von Lochungen je Spalte dargestellt; beim Abtasten erhält das Zählwerk die entsprechende Anzahl von Fortschaltimpulsen.

Abb. 20/2.3

Lochkarten-Buchungsmaschine von Tauschek (1930)
Vorne: Karteneinzug (Ablage rückwärts)
darüber: Steckverbindungen zur Schaltung der Lese-, Druck- und Lochspalten und zur Programmierung der Operationen einschl. Multiplikation und Divison
oben: Schreibwagen mit 75 Druckstellen (Paralleldruck)
links oben: Magazin für die Adreßdruckplatten





1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 … … 57 58 59 60

Konto-Nr	Tag	Verrechnungs-Stelle	Gesch Art	Wert	+ −	Betrag	Gegenkonto-Nr.	Tage	Zins-Summen	Ser-Nr.

Handels- und Kreditbank
Bernheim

Zahlen Sie von meinem/unserem Konto Nr

Ser. Nr

den Betrag von in Worten

auf das Konto des/der

Ort: den 19 Auftraggeber Unterschrift

Abb. 21/2.3

Lochkarten nach Tauschek als Verbundkarte, hier als Zahlungsanweisung ausgeführt.

1 2 0 5 4 3 6 3 8 5 0 4 A B C D E F G H I

1 2 0 5 4 4 2 3 6 5 2 2 A B C D E F G H I

1 2 0 5 4 3 5 4 2 8 9 2 A B C D E F G H I

1 2 0 5 4 3 6 3 8 5 0 4 A B C D E F G H I

1 2 0 5 4 3 1 3 8 5 1 7 A B C D E F G H I

1 2 0 5 4 2 9 4 0 7 0 · A B C D E F G H I

1 2 0 5 4 4 2 3 8 5 2 2 A B C D E F G H I

1 2 0 5 9 6 6 3 9 1 1 3 A B C D E F G H I

1 2 0 5 4 4 2 3 8 5 2 5 A B C D E F G H I

1 2 0 5 4 4 2 3 8 5 3 1 A B C D E F G H I

Abb. 22/2.3

Kopie der Aufnahme der Zeilenkamera zur Reproduktion des Kopfzeilendrucks auf Lochkarten, ca. 1942 von der Dienststelle „Maschinelles Berichtswesen" gebaut.

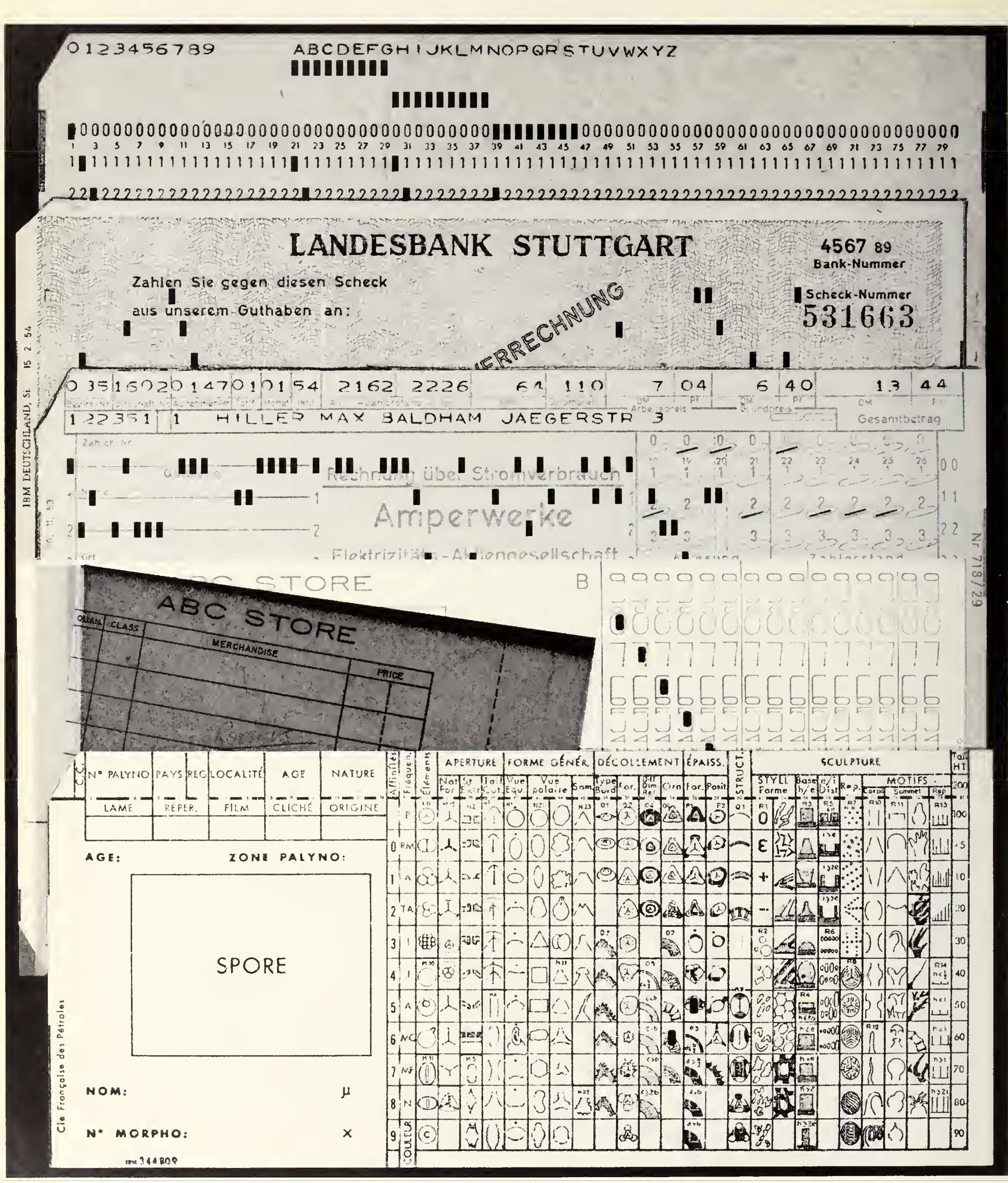


Abb. 23/2.4

Einige Ausführungsformen heutiger Lochkarten des IBM-Systems: Universelle Ziffernkarte; Verbundkarte mit Text und Lochung, hier als Scheck; Zeichenlochkarte; die mit Graphitstift angestrichenen Ziffern werden automatisch in die gleiche Karte gestanzt; Vorgestanzte Karte mit Quittungsdurchschlag (die Lochpositionen werden von Hand herausgedrückt); Vorgestanzte Lochkarte zur statistischen Erfassung von fossilen Mikroorganismen in der Lagerstättenkunde.

Abb. 24/2.4

Lochkartenformen des Powers-Systems
oben: 90-stellige Normalkarte: (Powers-) Remington Rand
links: 21-stellige Kleinlochkarte für Ziffern: (Samas-) ICT
unten: 40-stellige alphanumerische Karte: (Samas-) ICT.

Die Abbildungen dieser beiden Seiten bringen die Lochkarten in natürlicher Größe und zeigen, daß der Kopfzeilen-Druck nur bei den Powers-Karten mit den Lochspalten übereinstimmt.

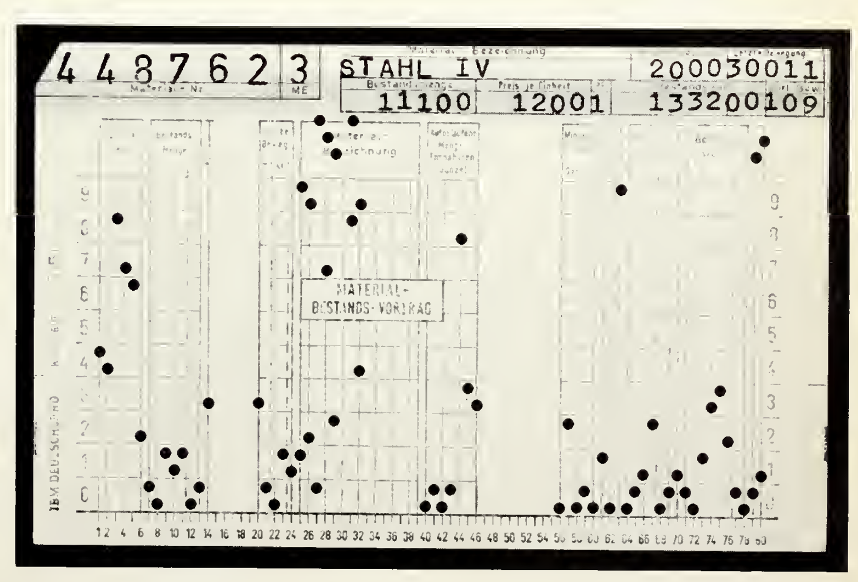
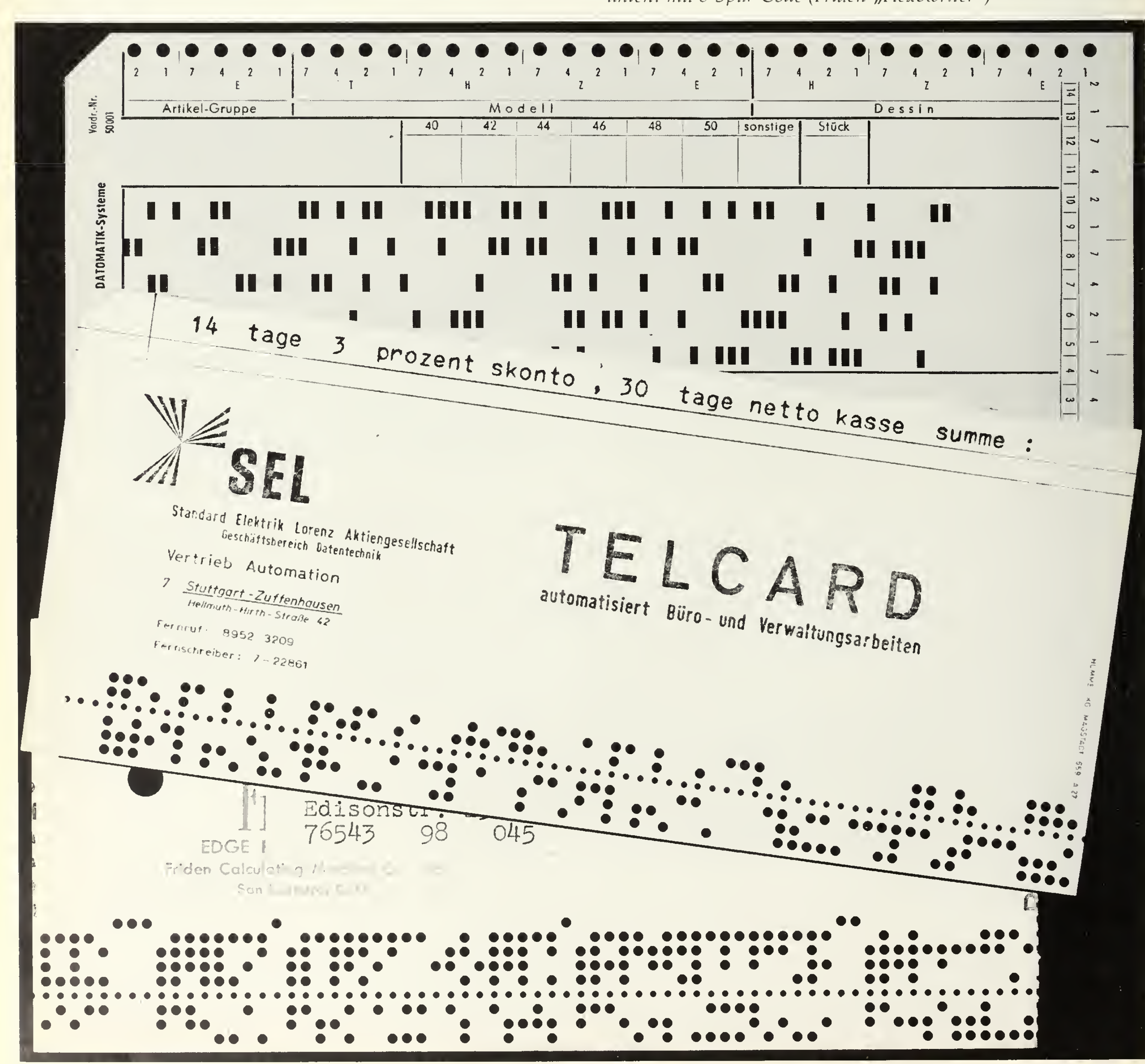


Abb. 25/2.4
Die 80-stellige Kleinlochkarte des Systems IBM 3000.

Abb. 26/2.4

Abwandlungen der Lochkarte zur Lochstreifenkarte
oben: mit 5-Spur-Code und Randkerbung zur manuellen Sortierung (Meckel-„Datomatik"-System)
mitte: mit Fernschreibcode und Klartext-Beschriftung (SEL)
unten: mit 8-Spur-Code (Friden-„Flexowriter")



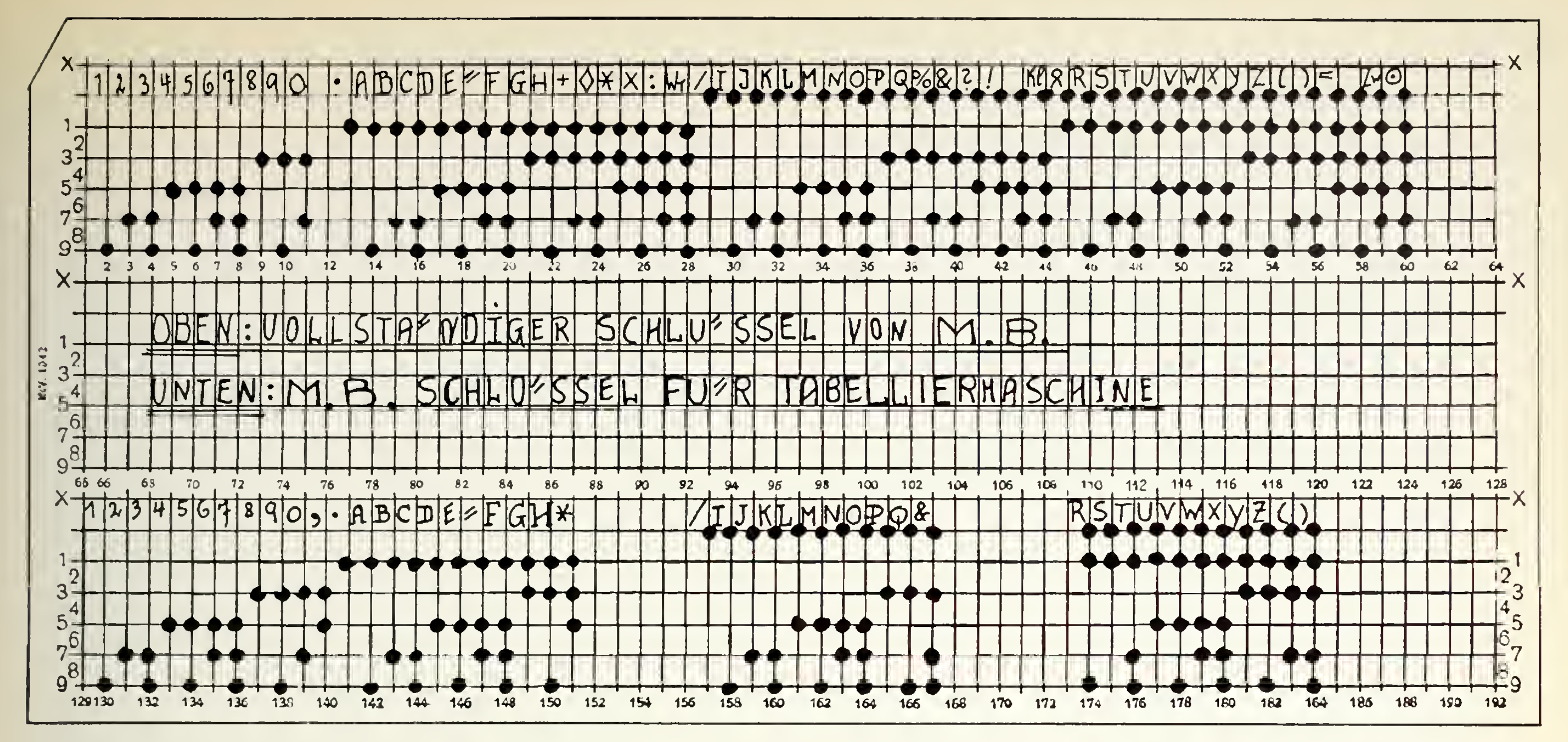


Abb. 27/2.4

Dreifeld-Lochkarte, um 1942 auf Veranlassung der deutschen Dienststelle „Maschinelles Berichtswesen" von einer Arbeitsgemeinschaft der deutschen Industrie (Astra, Powers, Wanderer u. a.) entwickelt; sie trägt drei Reihen mit sechsspurigem binären Code für Ziffern und Buchstaben und hat insgesamt 192 Stellen Kapazität.

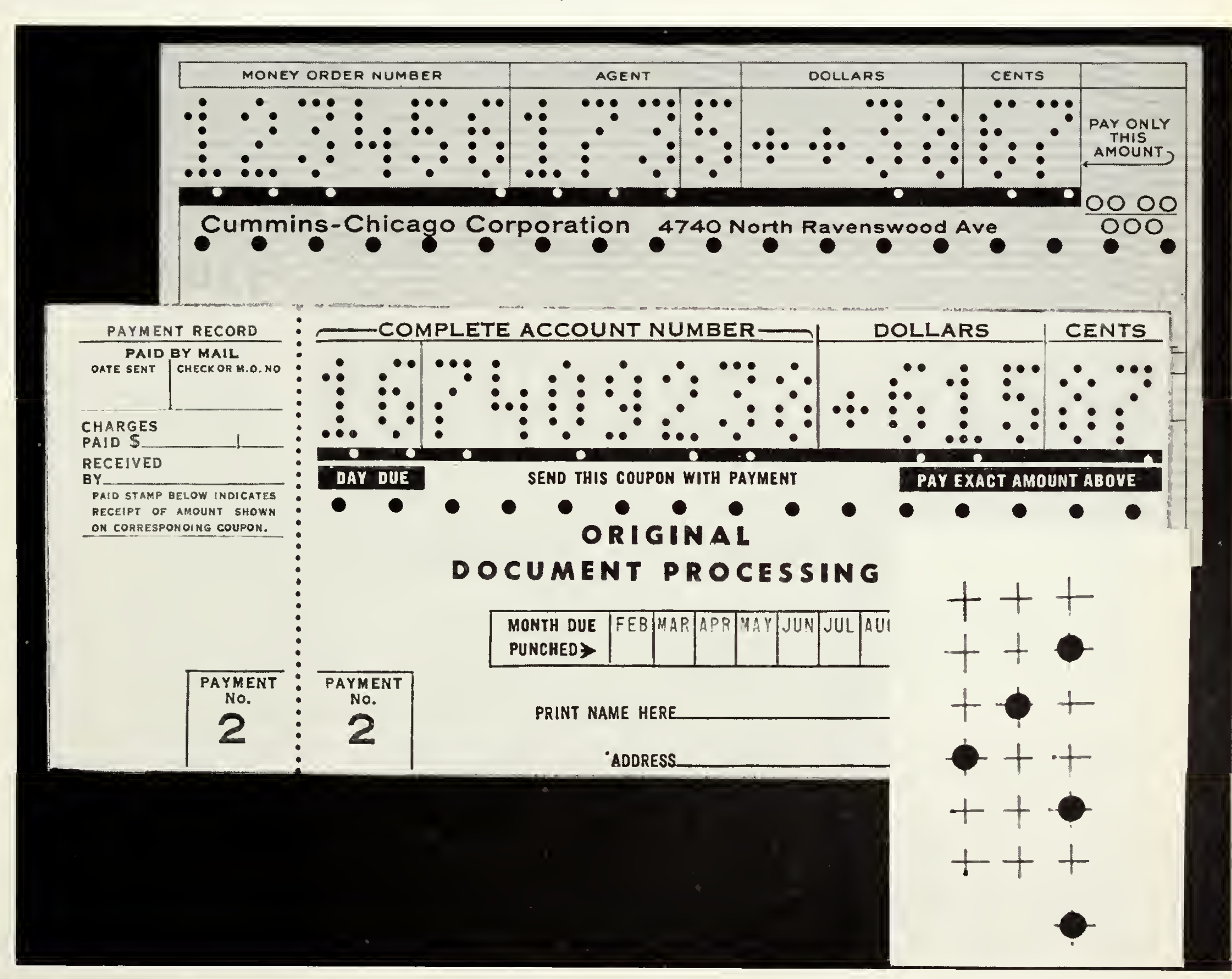


Abb. 28/2.4

Verbundkarte des „Perf-O-Data"-Systems von Cummins/Chicago und Lage der charakteristischen Abtastpunkte im Lochraster. Hier ist die Lochung in Ziffernform (3 x 6-Raster mit Zusatzlochstelle) ausgeführt, um auch leicht visuell gelesen werden zu können. Die somit in das Kleinlochkartenformat passenden 15 Ziffernstellen reichen für die hiermit zu erledigenden Buchungsaufgaben aus. Die Lochung wird elektrisch in einigen charakteristischen Punkten abgetastet. Dieser Verbund-Buchungsbeleg bildet den Übergang zwischen Lochkarte und in Klarschrift verarbeitbarem Beleg.
Die Maschinen (vergl. Abb. 17/9.1.5) können statt den im Bild gezeigten Lochraster-Ziffern (bis zu 20 Stellen) auch 80 Stellen 6-Spur-Code abtasten.



Abb. 29/2.5

Druckender Rechenlocher Remington Rand Type 309
Zusammenbau eines Rechenlochers mit einer mechanischen Vierspezies-Rechenmaschine „Hamann-Selecta" (1935-1939). Die Maschine hat zwei Volltastaturen für zwei Faktoren, rechnet verkürzt, und besitzt Speicherwerke für Multiplikatoren bzw. Quotienten und Produkte, die additiv und subtraktiv arbeiten. Summanden und Faktoren können außer von Hand auch aus der Lochkarte eingegeben und in die gleiche Karte eingelocht werden; gleichzeitig werden alle Posten und Produkte auf einem Papierstreifen ausgelistet.

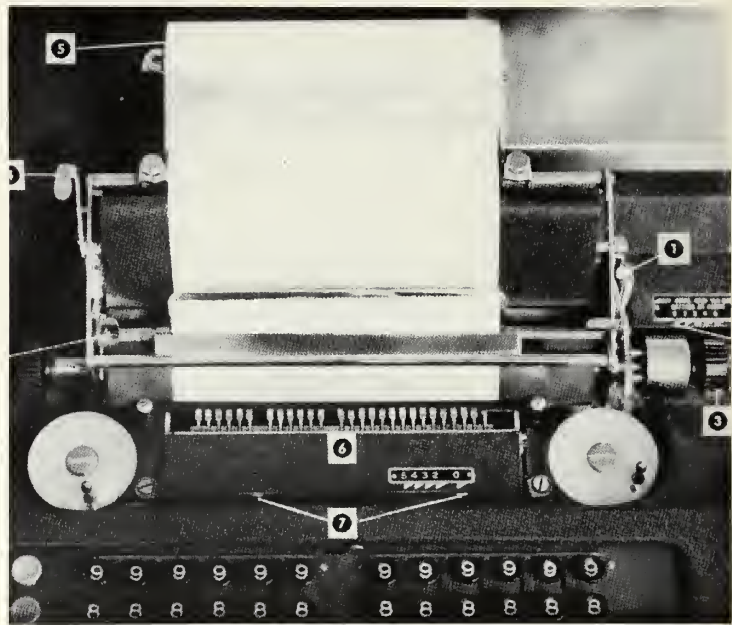


Abb. 30/2.5

Druckender Rechenlocher Remington Rand Type 309
Aufsicht auf die Rechenmaschinen-Tastatur und die Papierwalze mit Druckwerk.

Abb. 31/2.5

Elektronischer Rechenlocher IBM 604
(die arithmetische Einheit des IBM-CPC „Card programmed Calculator", Abb. 21/6.1.)



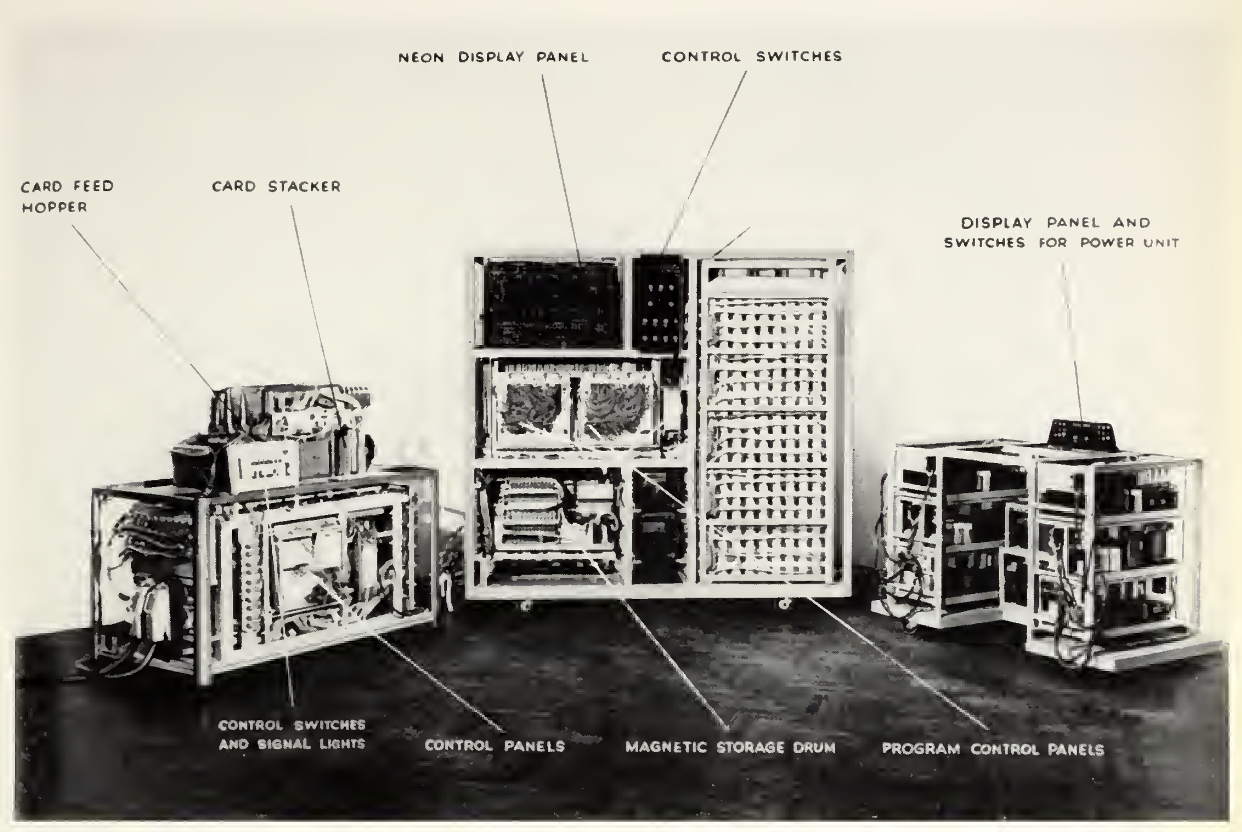


Abb. 32/2.5
Lochkartenrechner HEC der Brit. Hollerith (ICT)

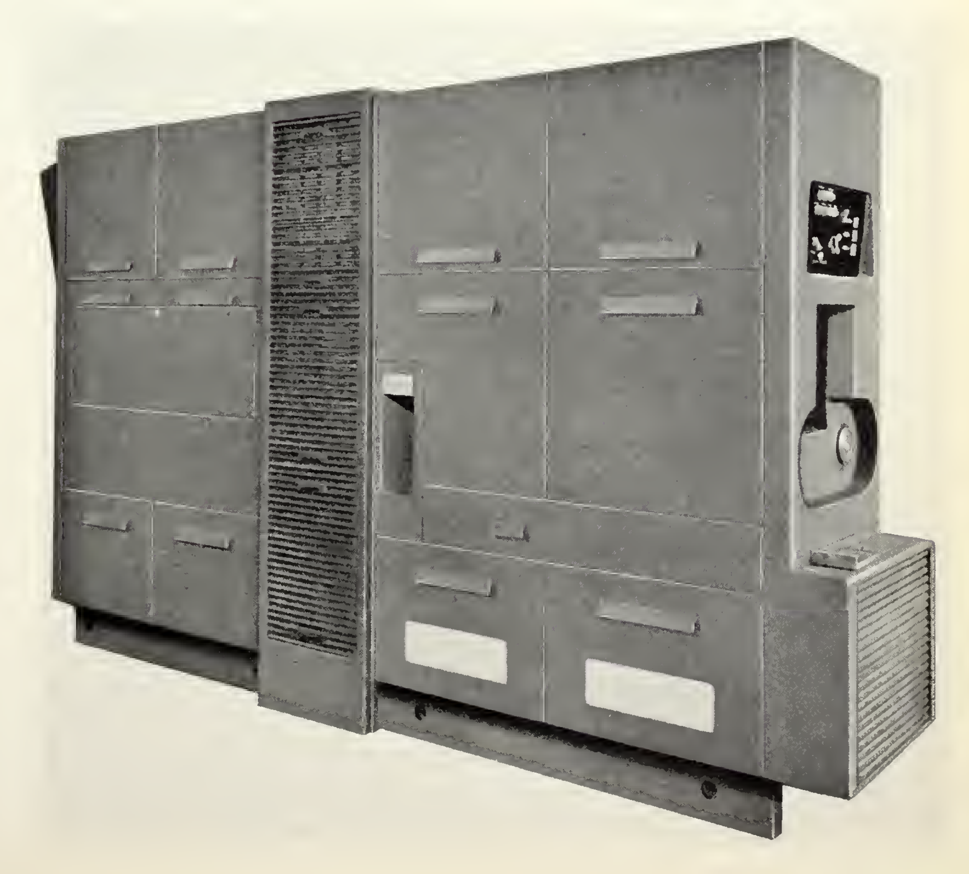


Abb. 33/2.5
Programme Controlled Computer PCC der Powers-Samas

Abb. 34/2.5

Datenverarbeitungsanlage UNIVAC 1004-III
Schalttafelprogrammierte Kombination zum Lochkartenlesen und -stanzen, Drucken und Rechnen (mit Ferritkernspeicher). Anschlußmöglichkeiten für Lochstreifen- und Magnetbandgeräte.



3 *Der Lochstreifen als Datenträger*

Während ein geeignetes Zahlensystem erste Grundlage für selbsttätiges Rechnen ist, die mechanischen Rechenmaschinen als zweite und die Idee der Programmsteuerung und Dateneingabe durch Lochkarten als dritte Wurzel angesprochen werden können, ist die vierte die Elektromechanik, die aus der Telegraphentechnik erwuchs. Sie ermöglichte allein, den komplizierten Ablauf von Rechenprogrammen schnell genug zu machen und die verschiedenen Werke einer Rechenanlage flexibel genug miteinander zu verbinden, um den erhofften Erfolg zu erreichen.

3.1 *Entwicklung in Telegraphen- und Fernschreibtechnik*

Die Göttinger Professoren *Gauß* und *Weber* benutzten erstmals 1833 den elektrischen Strom und einen Fünfer-Code zur Übertragung von Signalen auf weitere Strecken. Etwa gleichzeitig erfindet Samuel *Morse* in den USA den schreibenden Telegraphen und zusammen mit Alfred *Vail* den Punkt-Strich-Code, der, wie sich bald herausstellte, auch durch das Gehör gut zu erkennen ist. 1839 entstand eine derartige Schreibtelegraphen-Verbindung zwischen Washington und Baltimore, die auch schon Relais-Zwischenverstärker enthielt. 1841 baute *Wheatstone* (London) den lochenden Telegraphen, wobei der Punkt-Strich-Code durch Lochungen jeweils links und rechts einer mittleren Transportlochung eines Papierstreifens dargestellt wurde (Abb. 1/3.1). Die zwei Tasten des Streifenlochers dazu wurden mit Gummihämmern geschlagen. In Deutschland baute *Siemens* Telegraphengeräte (Abb. 2/3.1, 5/3.1 bis 8/3.1), *Jaite* in Berlin 1869 einen Empfangslocher. Weitere Entwicklungen stammen von D. C. *Hughes* (1853) und G. *Phelps* (1856). *Baudot* verbindet 1870 den Morse-Telegraphen und den Fünf-Schritt-Code von Gauß und Weber zu einem neuen System, mit dem Baudot internationalen Erfolg gewinnt. Er erfindet den zyklisch permutierten (1878, Pariser Weltausstellung) und einen

„Ketten"-Code (1889), bei dem die 5 Kontaktbahnen des Codegebers gleich sind und also durch eine Bahn mit 5 versetzten Bürsten ersetzt werden können. Er erhöht die Sicherheit durch Aussenden des Komplementcodes aus einer zweiten Kontaktbahn. 1887 wird der erste Streifenlocher mit Schreibmaschinen-Tastatur für den 5-Spur-Lochstreifen mit mittlerem Transportloch von *Carpentier* (Paris) gebaut (siehe Abb. 8/3.1). 1902 baut *Krum* in den USA, von *Morton* finanziert, den Fernschreiber als Prototyp der heutigen Blattschreiber; 1907 wurde von beiden gemeinsam die Firma Morkrum zum Bau von streifengesteuerten Telegraphen gegründet, und 1912 begann in den USA auch die Firma Kleinschmidt Electric Co. In Europa begann die Fa. Creed in Croydon, die bisher Streifenlocher mit Tastatur (Abb. 3/3.1 und 4/3.1), Empfangslocher und streifengesteuerte Schreibwerke für Morse-Telegraphie gebaut hatte, auch mit dem Bau von Blattschreibern für das Fünfer-System, während etwa gleichzeitig nach den Patenten der vereinigten Firmen Morkrum-Kleinschmidt (ab 1928 Teletype Corp.) auch in Deutschland die Firma Lorenz die Fertigung von Fernschreibgeräten aufnahm; der druckende Schnelltelegraph von Siemens erreichte 1912 schon eine Leistung von 600 bis 700 Zch/min. Anfang der dreißiger Jahre wurde zum Steuern von Setzmaschinen ein 6-Spur-Lochstreifen entwickelt, der genügend Zeichenvorrat zum Unterscheiden von Groß- und Kleinbuchstaben enthält.

Ende der zwanziger Jahre waren die ersten elektrisch angetriebenen Schreibmaschinen entstanden und seit etwa 1930 im Handel. Sie wurden versuchsweise als Grundlage für Telegraphengeräte verwendet und 1941 von *Tholstrup* mit einem Streifenlocher für 6-Spur-Code versehen, ebenso mit einem Streifenleser zum selbsttätigen Ansteuern der Tastatur. Dieses Gerät fand als Schreibautomat *Electromatic* (siehe Abb. 5/4.2 beim Mark I von Aiken) guten Anklang. Später wurde die Lochstreifen-Duplziereinrichtung angebaut und die Konstruktion umgewandelt zum heutigen Flexowriter der Fa. Friden, Inc., der mit 8-Spur-Streifen (Abb. 9/3.1) eines der verbreitetsten Ein/Ausgabegeräte für kleinere und langsame Rechenanlagen der USA ist (Abb. 10/3.1).

In Europa und besonders in Deutschland hat sich das Fernschreibnetz am dichtesten ausgebildet; hier wird selbstverständlich das internationale Telegraphenalphabet CCITT Nr. 2 von *Murray* mit 5-Spur-Lochstreifen (Abb. 11/3.1) verwendet und es werden die weitverbreiteten Blattschreiber mit Streifenlocher und -leser (Abb. 12/3.1) außer im Fernschreibdienst auch vorwiegend zur Programm- und Dateneingabe ein Elektronenrechner eingesetzt. Für rein oder vorwiegend numerische Aufgaben wird ein abgewandelter, prüfbarer Zifferncode und Blattschreiber mit 3fach-Umschaltung verwendet, für Dokumentationsaufgaben der *Perfoset*-Blattschreiber von Siemens, der einen 6-Spur-Code im Lochstreifen verarbeitet, um auch zwischen Groß- und Kleinbuchstaben unterscheiden zu können.

3.2 *Lochstreifengeräte zur Ein/Ausgabe von Daten*

Insbesondere bei den Rechenautomaten für wissenschaftliche Anwendung, die nicht aus Lochkartenmaschinen hervorgegangen oder in deren Firmen entwickelt sind, dient der Lochstreifen zur Eingabe der Daten und der Programmbefehle, angefangen von Zuses ersten Maschinen bis zu modernen Rechnern. Das serielle Lesen der Ziffern und Befehle entspricht am besten den Einlese-Bedingungen zur Einspeicherung oder gar zur direkten Verarbeitung, so daß diese Rechner auch dann, wenn sie auch mit Lochkarten-Eingabe ausgerüstet werden, auf die seriellen Kartenleser zurückgreifen.

Literatur:

Heath: Pioneers of Binary Coding. Journ. Inst. electr. Engineers, London, (1961) 81, S. 539–541.

Tholstrup, H. L.: Perforated Storage Media. Electrical Manufacturing, Dez. 1958, S. 53–61 und 276.

Nesper, E.: Radio-Schnell-Telegraphie. Springer Verlag, 1922.

Hering, W.: Alte und neue Telegraphentechnik. Fernmelde-Praxis 41 (1964) 12, S. 488–591.



Abb. 1/3.1

Nachdem 1839 von Morse eine Telegraphenverbindung zwischen Washington und Baltimore mit einem auf der Grundlage des von ihm und Alfred Vail entwickelten Lang-Kurz-Code arbeitenden schreibenden Telegraphen aufgebaut war, entwickelte 1841 Wheatstone den Lochstreifen als Signalgeber und den lochenden Telegraphen. Der Streifenlocher dazu war von Hand zu bedienen, indem mit zwei Gummihämmern auf den mittleren Knopf zum Stanzen des Transportloches und auf einen der seitlichen Knöpfe zum Stanzen eines Loches für Punkt oder Strich zu schlagen war.

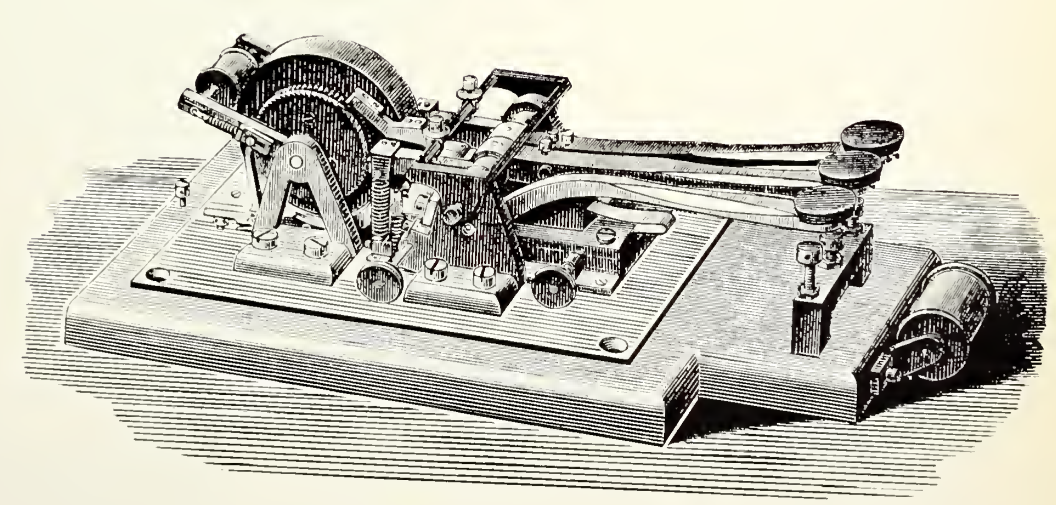


Abb. 2/3.1

Dreitasten-Streifenlocher zum Erstellen von Lochstreifen für Morsetelegraphie mit automatischen Sendern.
gebaut 1853 für die Russische Linie von Werner Siemens.
Der Morse-Punkt wurde durch ein Loch, der Strich durch zwei aufeinanderfolgende Löcher dargestellt.
Auch die Telegraphenlinie London-Karatschi-Kalkutta, 1867 bis 1869 von Siemens gebaut, wurde mit Lochstreifen-Schnellsendern betrieben.



Abb. 3/3.1
Fred. Eg. Creed, der als „Holzhammer-Telegraphist" gearbeitet hatte, entwickelte um 1902 einen tastengesteuerten Streifenlocher mit Druckluft als Antriebskraft.

Abb. 4/3.1
Creed: Tastaturlocher für Morsestreifen, Mod. 9, um 1919.

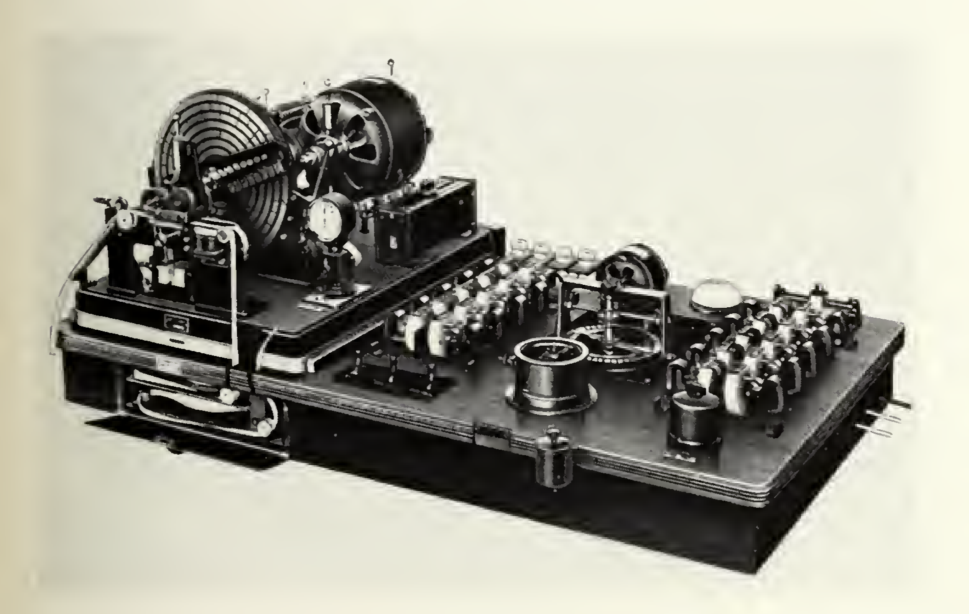




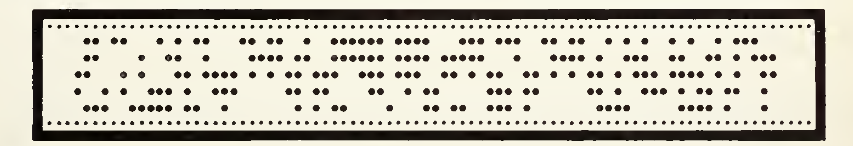
Abb. 5/3.1
Schreibmaschinen-Locher Siemens für Fernschreib-Lochstreifen 1912.



Abb. 6 u. 7/3.1
Elektromechanischer Schnelltelegraph von Siemens & Halske, 1912; oben: Lochstreifensender (5-Spur-Lochung nach Abb. 8/1.3), unten: Streifendrucker (Leistung 1000 Buchstaben/Minute).



·	/	'	&	3	!	”	,	8	=	§	+	?	–	9	0	1	4	:	5	7	)	2	(	6	,	Buchstaben u	Zeichen u	Jrrungs-	Gleichlauf-	
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	Zwischenraum	Zwischenraum	Zeichen ⁂	Zeichen ♁	Halt
		●	●	●	●	●	●	●			●		●	●							●	●		●	●			●		●
●	●	●		●		●	●		●		●	●	●		●					●			●				●	●		●
●		●		●	●						●				●	●		●		●	●			●	●	●	●		●	●
	●				●	●				●	●			●			●	●		●	●	●	●			●	●	●		●
	●	●	●			●	●		●					●	●	●	●		●		●				●	●	●			●



schriftprobe des siemens - schnelltelegraphen von siemens & halske . berlin .

Abb. 8/3.1
Der 5-Spur-Lochstreifen von Carpentier (1887) und der Code des Schnelltelegraphen von Siemens, 1912.

8-Kanal-Lochstreifenschlüssel

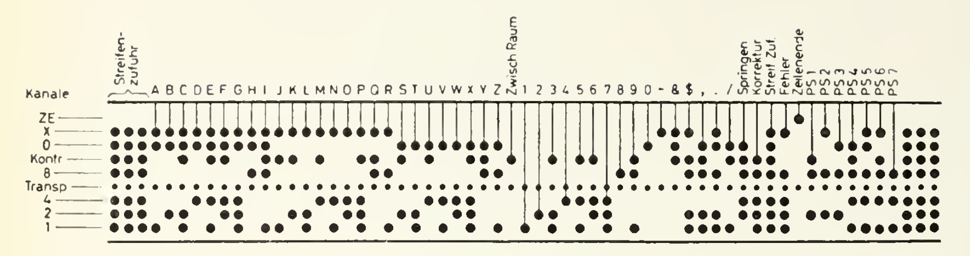


Abb. 9/3.1

Durch ein Kontroll-Loch auf ungerade Lochzahl je Zeichen ergänzter und dadurch prüfbarer 8-Spur-Lochcode (IBM).

Die siebte Spur enthält das Prüfbit x, die achte wird nur zum Markieren des Zeilenendes gelocht.



Abb. 10/3.1

„Flexowriter Programmatik" Modell SPS

Tholstrup entwarf ab 1941 eine Kombination von elektrisch angetriebener Schreibmaschine mit Locher und Leser für Lochstreifen und Lochstreifenkarten; hieraus entstand der „Flexowriter". Die Maschine wird in mehreren Ausführungen von der Firma Friden Inc., Rochester, USA, hergestellt.



	Kanal 1	2	3	4	5	Fs Bu	Fs Zi	Zi*
1	●	●				A	–	*
2	●			●	●	B	?	0
3		●	●	●		C	:	6
4	●			●		D	✠	*
5	●					E	3	+
6	●		●	●		E		7
7		●		●	●	G		4
8			●		●	H		*
9		●	●			I	8	*
10	●	●		●		J	🔔	8
11	●	●	●	●		K	(	*
12		●			●	L	)	*
13			●	●	●	M	.	3
14			●	●		N	,	*
15				●	●	O	9	*
16		●	●		●	P	0	5
17	●	●	●		●	Q	1	*
18		●		●		R	4	*
19	●		●			S	'	*
20					●	T	5	–
21	●	●	●			U	7	9
22		●	●	●	●	V	=	*
23	●	●			●	W	2	2
24	●		●	●	●	X	/	*
25	●		●		●	Y	6	1
26	●				●	Z	+	*
27				●		Wagenrücklauf		
28		●				Zeilenwechsel		
29	●	●	●	●	●	Buchstaben		
30	●	●		●	●	Ziffern u Zeichen		
31			●			Zwischenraum		
32						3. Umschaltung (zu prüfende Ziffern und Zeichen)		

Zi* = Ziffern in prüfbarem $\binom{5}{3}$-Code

Abb. 11/3.1

Der 5-Spur-Code CCITT Nr. 2 des internationalen Fernschreib-Telex-Netzes, ergänzt durch eine dritte Umschaltung zum Darstellen der Ziffern in prüfbaren Codezeichen mit stets drei Lochungen im Streifen.

Abb. 12/3.1

Blattschreiber mit Streifenlocher- und Lesezusatz (SEL) in einer Ausführung mit wanderndem Typenkorb und nicht verschieblicher Papierwalze, besonders zweckmäßig zum Beschriften von Endlos-Papierbahnen und Formblättern mit Lochrandführung durch Papierwalze mit Stachelrädern.

Als Codes finden der internationale Fernschreibcode CCITT Nr. 2 und ein „Ziffernsicherungscode" mit besonderen Ziffern in einer dritten Umschaltung, sowie ein 6-Spur-Code zur Darstellung von Groß- und Kleinbuchstaben Verwendung, letzterer im Perfoset-Blattschreiber von Siemens, der vor allem zum Lochen von Streifen für Setzmaschinen entworfen ist. Als weitere Sonderausführungen gibt es noch die Programm-Blattschreiber für Symbole der ALGOL-Sprache und zum Auslochen von Programmen für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen.

"The Analytical Engine has no pretensions whatever to ORIGINATE anything. It can do whatever WE KNOW TO ORDER IT to perform."

Lady Lovelace

(Mitarbeiterin Babbages und erste „Programmiererin")



Abb. 13/3.1
DURA MACH 10
„Input/Output"-Schreibautomat
mit Lochstreifen-Leser (links) zur Dateneingabe und -Locher (rechts angebaut) zur Ausgabe unter Verwendung der Kugelkopf-Schreibmaschine IBM 72.

Teil II Entwicklung von programmgesteuerten Rechenanlagen

4 *Rechenautomaten in elektromechanischer Bauweise*

4.1 *Frühe Versuche und Spezialgeräte*

Es war schon in Abschnitt 1.3 darauf hingewiesen worden, daß die Konstruktionen Babbages zu einer automatischen Summation konstanter Differenzen etwa 100 Jahre später mit handelsüblichen Buchungsmaschinen realisiert wurden. Am Institut für Praktische Mathematik der Technischen Hochschule Darmstadt, Prof. Dr. A. *Walther*, wurden um 1943 *National 3000* Buchungsmaschinen (Abb. 1/4.1) mit einem Programmsteuerwerk ausgerüstet, das die mehrfachen Additionen einer in die Tastatur eingegebenen konstanten 5. Differenz zu einem ebenfalls vorgegebenen Funktionswert automatisch ausführte, um dieserart weitmaschig berechnete Funktionstafeln durch parabolische Interpolation zu verfeinern.

Die erstgebaute Steuerung bestand aus einem motorgetriebenen Schaltwerk, dessen festverdrahtete Kontakte der Reihe nach die mit Magnetaufsätzen versehenen Funktionstasten für Addition, Speicherwerksanruf und Wagenbewegung ansteuerten. Eine zweite Steuerung war flexibler aufgebaut und konnte durch eine Stecktafel für jeden gewünschten Ablauf eingerichtet werden.

Diese zugegebenermaßen primitive Automatisierung erwies sich für die Errechnung und das Auslisten von Funktionstafeln als sehr brauchbar.

Literatur:

Institut für Praktische Mathematik der Technischen Hochschule Darmstadt: Berichte Nr. 2 und 3, August 1945, Bericht A 2, August 1946.

Walther, A.: FIAT Review of German Science, Teil I S. 137, Verlag Chemie, Weinheim 1953.

4.2 *Elektromechanischer Rechenautomat Mark I = ASCC von H. H. Aiken*

Der „Automatic Sequence Controlled Calculator" *ASCC* oder *Mark I* ist noch aus elektromechanischen Bauteilen zusammengestellt. Diese erste Großanlage wurde von Howard H. *Aiken* (Abb. 2/4.2) zwar schon 1937, also gleichzeitig mit dem BELL-Relais-Rechner Mark I, geplant, in Zusammenarbeit des Computation Laboratory der Harvard University und der Firma IBM jedoch erst 1939 in Angriff genommen und im Mai 1944 abgeschlossen, und dann auch weiterhin ausgebaut und verbessert, vor allem durch Einbau eines *„Subsidiary Sequence Mechanism"* (ab 1947). Sie wurde im wesentlichen aus IBM-Lochkartenmaschinenteilen (Zählern usw.) zusammengebaut, und mit Lochbandlesern zur Funktionswerteingabe und elektrisch angesteuerten Schreibmaschinen ausgerüstet.

Die Gesamtansicht der Anlage (Abb. 3-12/4.2) zeigt in vorderer Linie 17 Gestelle, die zusammen 15 m lang sind; dahinter sind noch 5 weitere Gestelle ausgebaut.

Die Gestelle enthalten, vorne von links aus zu sehen:

1 und 2:	60	Konstantenspeicher mit je 10 Zehnfach-Drehschaltern,
3 bis 11:	72	rechnende Zählwerke = Arbeitsspeicher, jeweils mit Stecktafeln und Tastenfeldern zur Steuerung der Einzelabläufe versehen.
12 bis 14:	3	Lochbandleser für Eingabe von Funktionstafelwerten,
15:	1	Lochbandleser für ein Hauptsteuerprogramm,
16 und 17:	2	Lochkartenleser und -stanzer und 2 elektrische Schreibmaschinen zur Ein/Ausgabe.

Hinten stehen

18 und 19:	2	Verbindungs- und Schalteinheiten
20 bis 22:		zur Unterprogramm-Eingabe.

Der Rechner verarbeitete, den verwendeten Zählwerken gemäß, dezimale Zahlen mit 23 Stellen und Vorzeichen in paralleler Arbeitsweise.

Das Lochband aus Lochkartenkarton enthielt 24 Lochstellen je Sprosse; der Code war vierstellig binär. Einer der Lochbandleser diente als Programmgeber: 2 zweistellige Speicheradressen und eine zweistellige Operations-Kennzahl sind in je 8 Spuren eingelocht. Die Steuerung der Anlage im einzelnen erfolgte jedoch durch die den rechnenden Zählwerken zugeordneten Stecktafeln und durch die Verdrahtung. Außer den vier Grundrechnungsarten waren Ablauf-Steuerungen für Logarithmus, Sinus und Exponenten-Rechnung eingebaut. Mit dem später hinzugefügten *„Subsidiary Sequence Mechanism"* konnten 10 auswechselbare Unterprogramme (z. B. für Wurzelziehen, Potenzieren, Interpolieren von Tafelwerken) von maximal je 22 Befehlen in Form von Steckverbindungen vorgeschrieben werden.

Die Anlage erreichte Operationszeiten von 0,3 s bei Addition und 6 s bei Multiplikation. Sie wurde im Wesentlichen zur Errechnung von Funktionstabellen für die Marine eingesetzt und erst im Juli 1959 außer Betrieb genommen.

Literatur:

Aiken, Howard H.: Proposed Automatic Calculating Machine. (4. 11. 1937). Nachdruck in IEEE-Spectrum (Aug. 1964), S. 62–69.
Aiken, Howard H. und Grace H. Hopper in Electr. Engng., New York, Vol. 65 (1946), S. 384, 449, 552.

4.3 *Konzeption einer Rechenanlage in Darmstadt*

Obschon die Entwicklung von Rechenautomaten in Relaisbauweise bei K. Zuse zeitlich früher liegt (siehe 5.4.2), wird hier doch die technische Vorstufe der elektromechanischen Maschinen vorweggenommen.

Beim Institut für Praktische Mathematik der Technischen Hochschule Darmstadt, Prof. Dr. A. *Walther*, war 1943—44 ein Rechenautomat in der Entwicklung, der so schnell und einfach wie möglich aufgebaut werden sollte. Deshalb wurden für alle Baugruppen vorhandene und erprobte Geräte oder Bauteile herangezogen, die gemäß ihrem ursprünglichen Verwendungszweck die bei der neuen Planung zu stellenden Anforderungen erfüllten. In erster Linie waren Hollerith-Lochkartenmaschinen und Fernschreibgeräte, wie Blattschreiber und Streifenlocher und -leser vorgesehen. In Anbetracht der damaligen Schwierigkeiten bei Neuentwicklung und Fertigung spezieller Teile wurde eine geringere Arbeitsgeschwindigkeit, als dem Stand der Technik entsprach, in Kauf genommen.

Der geplante Aufbau der *IPM-Rechenanlage* ist in Abb. 13/4.3 schematisch dargestellt. Als Speicher sollten Zählwerke der Hollerith-Maschinen dienen, die durch 11fache Verbindungen mit drei Sammelschienen beliebig anzuschalten waren, und die 11stellige Zahlen zu den schon in den Zählwerken enthaltenen Zahlen addieren konnten. Der Inhalt wurde ständig mit Ziffernrollen angezeigt und war ebenfalls über die Sammelschienen zum Rechnen, Auslisten usw. abzugreifen. Die Zählwerke konnten auch die Komplementwerte angeben, wodurch in angeschlossenen Zählwerken auch Subtraktionen ausführbar waren. Als Multiplizierwerk diente der schneller arbeitende und mit einem „Einmaleins-Körper" ausgestattete Zählwerkstyp II aus Hollerith-Rechenlochern. Für die Division bestand noch kein fertiges Bauteil, daher mußten dafür besondere elektrische Schaltungen geschaffen werden. Die Steuerung erfolgte über den Lochstreifenleser, wobei jedem Codezeichen und bestimmten Codezeichen-Gruppen des Fernschreibalphabets ein Befehl zum Rechnen, Speichern usw. zugeordnet wurde, weil die im Fünferalphabet mögliche Anzahl von 32 Zeichen nicht für die Befehlsliste ausreichte. Das Steuerwerk decodierte die Befehlszeichen und betätigte über die Auswahlschienen der Typenhebel je einen Schalter, der den gewünschten Befehl ausführen bzw. den betreffenden Sammelschienen-Schalter sich betätigen ließ.

Als Schreibwerke dienten die 7 in einer Hollerith-Tabelliermaschine enthaltenen Schreibwerke, die auf eine gemeinsame Papierwalze einwirkten. Auch Funktionswertgeber waren vorgesehen, wofür sowohl eine Sonderentwicklung des Instituts mit Lochstreifenleser, als auch elektromechanische Speicher und interpolierende Maschinen dienen sollten; letztere waren damals in rein mechanischer und auch in elektrischer Bauweise von Weimershaus entwickelt und von der Rechenmaschinenfabrik *DeTeWe* gebaut worden für Zwecke der astronomischen Ortsbestimmung im Flugzeug.

Ein Arbeitsgang der verkoppelten Hollerith-Maschinen, enthaltend eine Übertragung je Kanal mit gleichzeitiger Addition oder Subtraktion, erforderte 0,4 s, bei gleichzeitigem Druck 0,6 s. Die Ersparnis an Arbeitszeit mit diesem Rechenautomaten wurde für die damals interessierenden Aufgaben auf etwa neun Zehntel der bei nanueller Arbeit mit gewöhnlichen Rechenmaschinen erforderlichen Zeit geschätzt, wobei diese Ersparnis nicht nur von der schnelleren Arbeitsweise, sondern vor allem vom Wegfall jeder Schreib- und Eintastarbeit herrührte.

Diese Planung war in bezug auf die Steueranlage mit Lochstreifengerät und Funktionswertgeber schon weitgehend realisiert; die Zusammenschaltung der Hollerith-Baugruppen war vorbereitet und wäre in kurzer Zeit möglich gewesen. Leider gerieten alle Pläne und Geräte im Herbst 1944 in Verlust.

Literatur:

Institut für Praktische Mathematik der Technischen Hochschule Darmstadt: Interner Institutsbericht Febr. 1944, Bericht A 1, Mai 1946, Bericht A 3, August 1946.
Walther, A.: FIAT Review of German Science, Teil I S. 136, Verlag Chemie, Weinheim 1953.



Abb. 1/4.1
Buchungsautomat „National 3000", zur selbsttätigen Untertafelung nach konstanten fünften Differenzen hergerichtet durch Anbau eines Schaltwerkes zur Ansteuerung der Funktionstasten nach festem Programm.

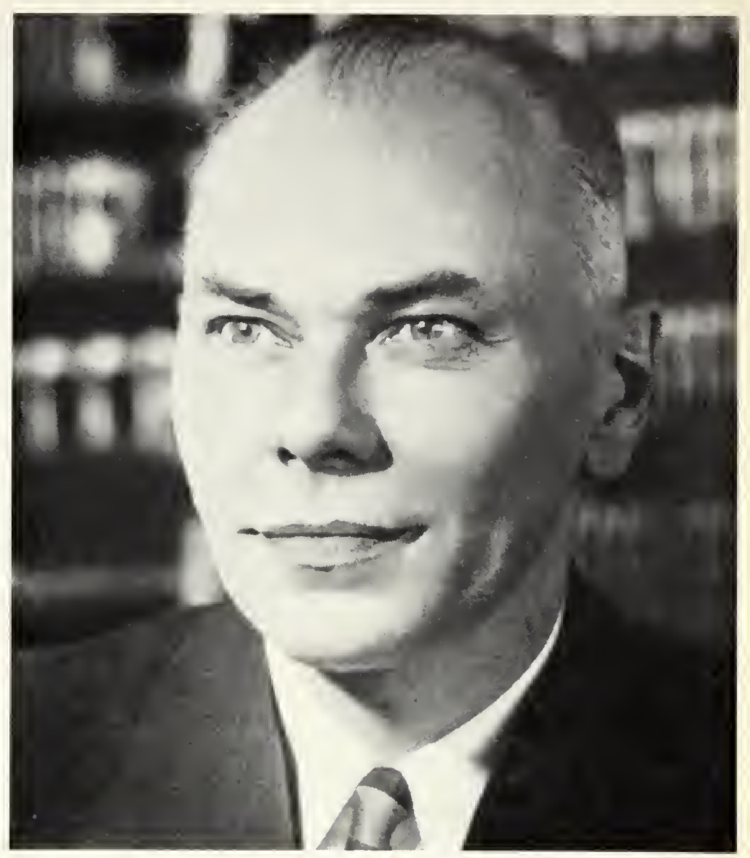


Abb. 2/4.2
Prof. Howard H. Aiken vom Computation Laboratory, Harvard University, Cambridge, USA.
Schöpfer des „Automatic Sequence Controlled Calculator" ASCC oder Mark I.

Abb. 3/4.2
Gesamtansicht des ASCC = Mark I



Abb. 4/4.2
Mark I mit der späteren Ergänzung durch die Unterprogramm-Einrichtung (1947) rechts hinten.

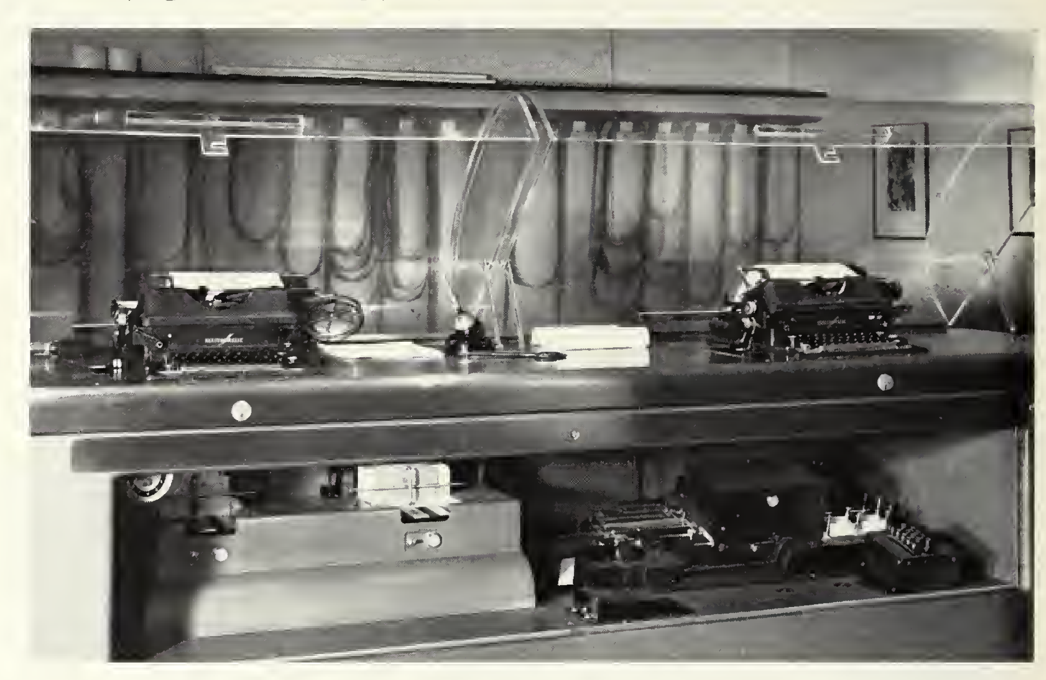


Abb. 5/4.2
Ausgabe-Schreibmaschine „Electromatic“ (siehe 3.1) und Lochstreifenarchiv, Lochkarten-Handlocher und -leser.

Abb. 6/4.2
Mark I
Blick auf die Lochbandspeicherwerke



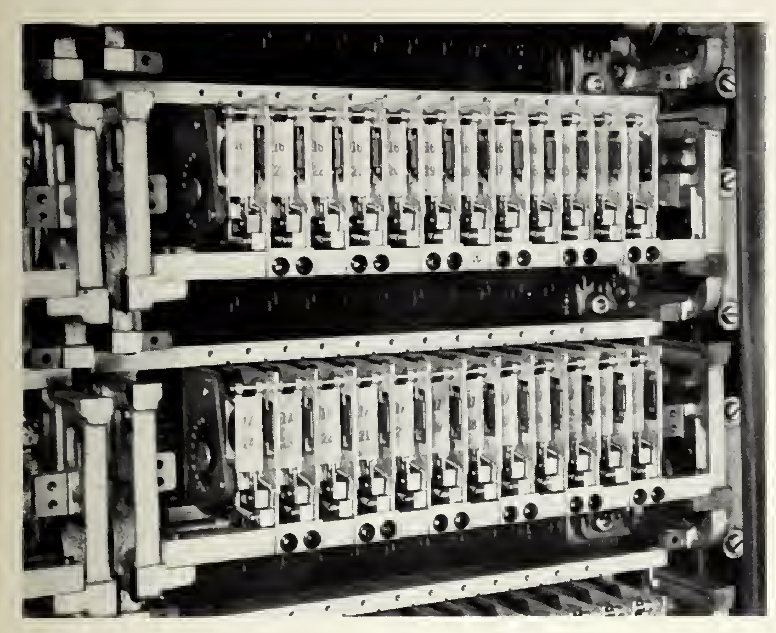


Abb. 7/4.2
Mark I
Mechanische Zählwerke als Speicher

Mark I
enthielt 760 000 Einzelteile
mit 3000 Kugellagern
und 800 km Leitungsdraht
und kostete rd. 400 000 $.

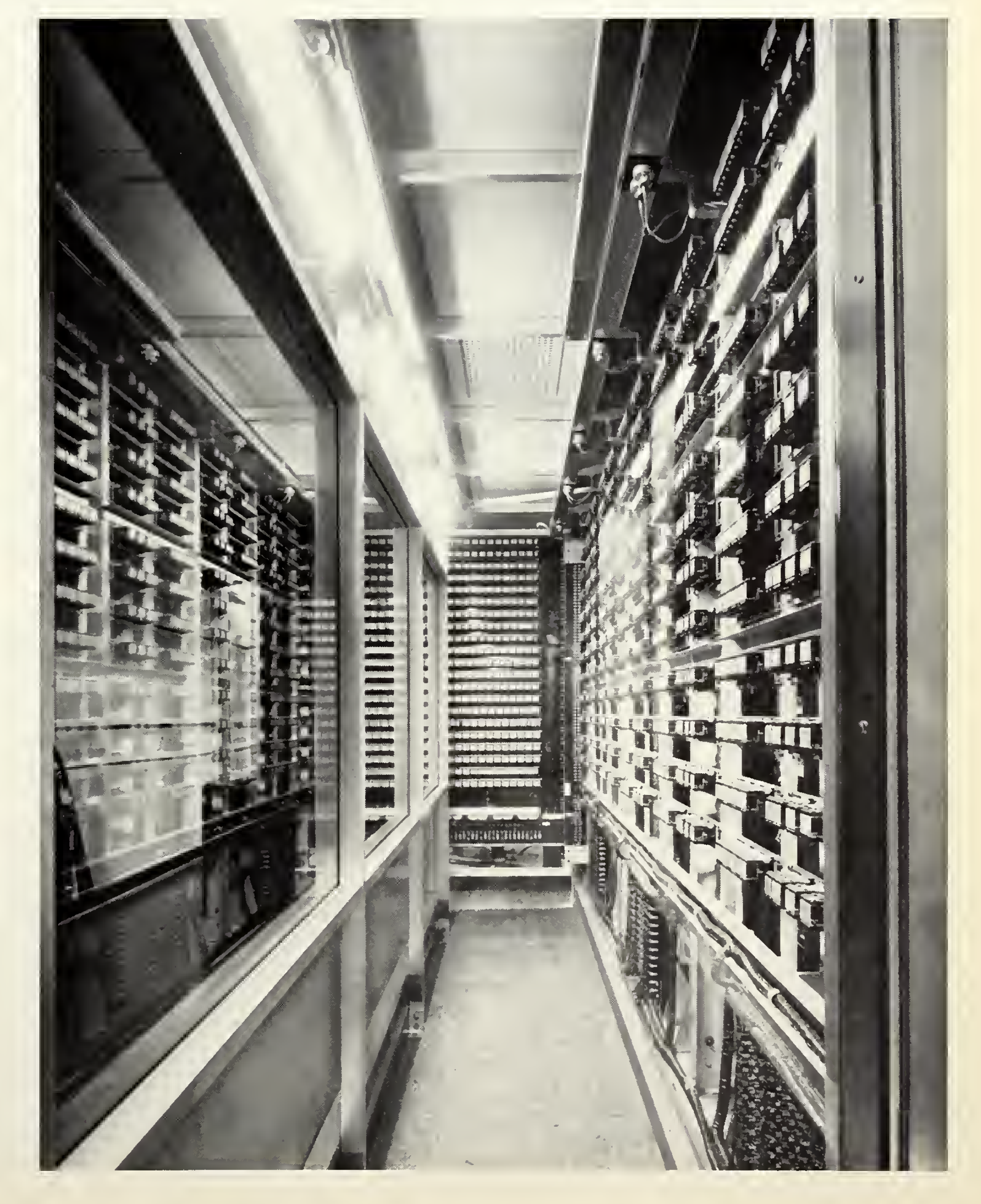


Abb. 8/4.2
Mark I
Ein/Ausgabe-Steuerungsrelais für die Zählwerke

Abb. 9/4.2
Mark I
Multiplizierwerk und Hauptwellen-Antrieb

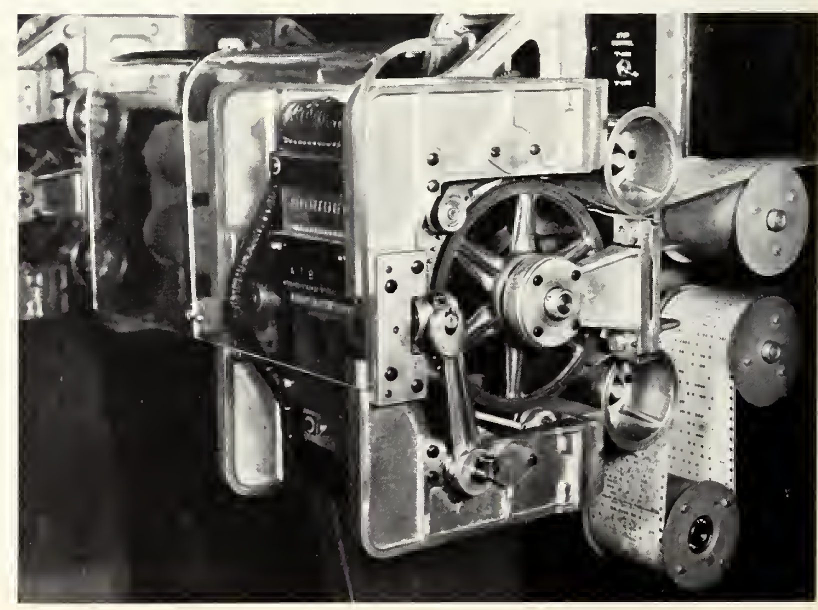


Abb. 10/4.2
Mark I
Detail der Lochband-Abtastung

Abb. 11/4.2
Mark I
Zählwerke und Koppelungstafel

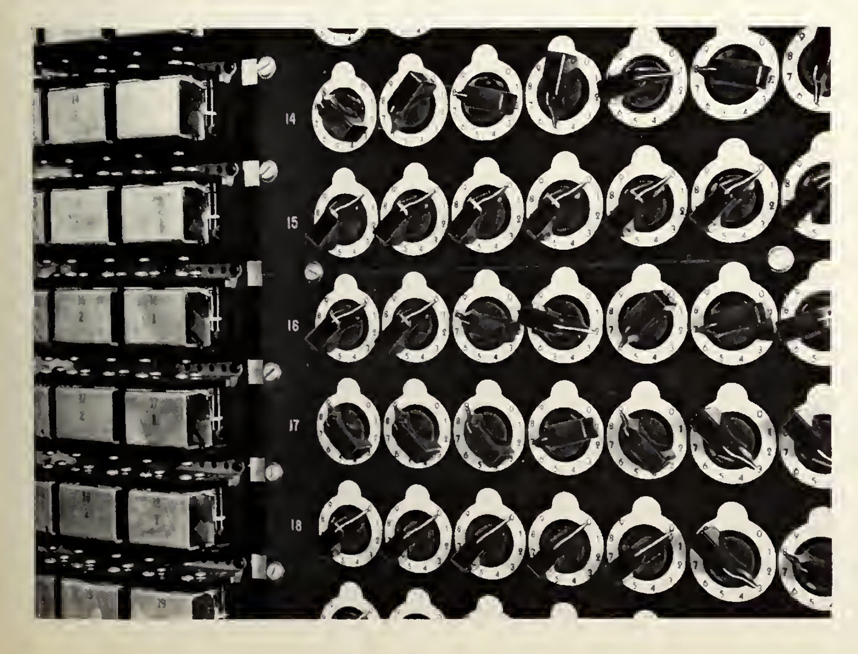


Abb. 12/4.2
Mark I
Drehschalter zur Konstanten-Einstellung

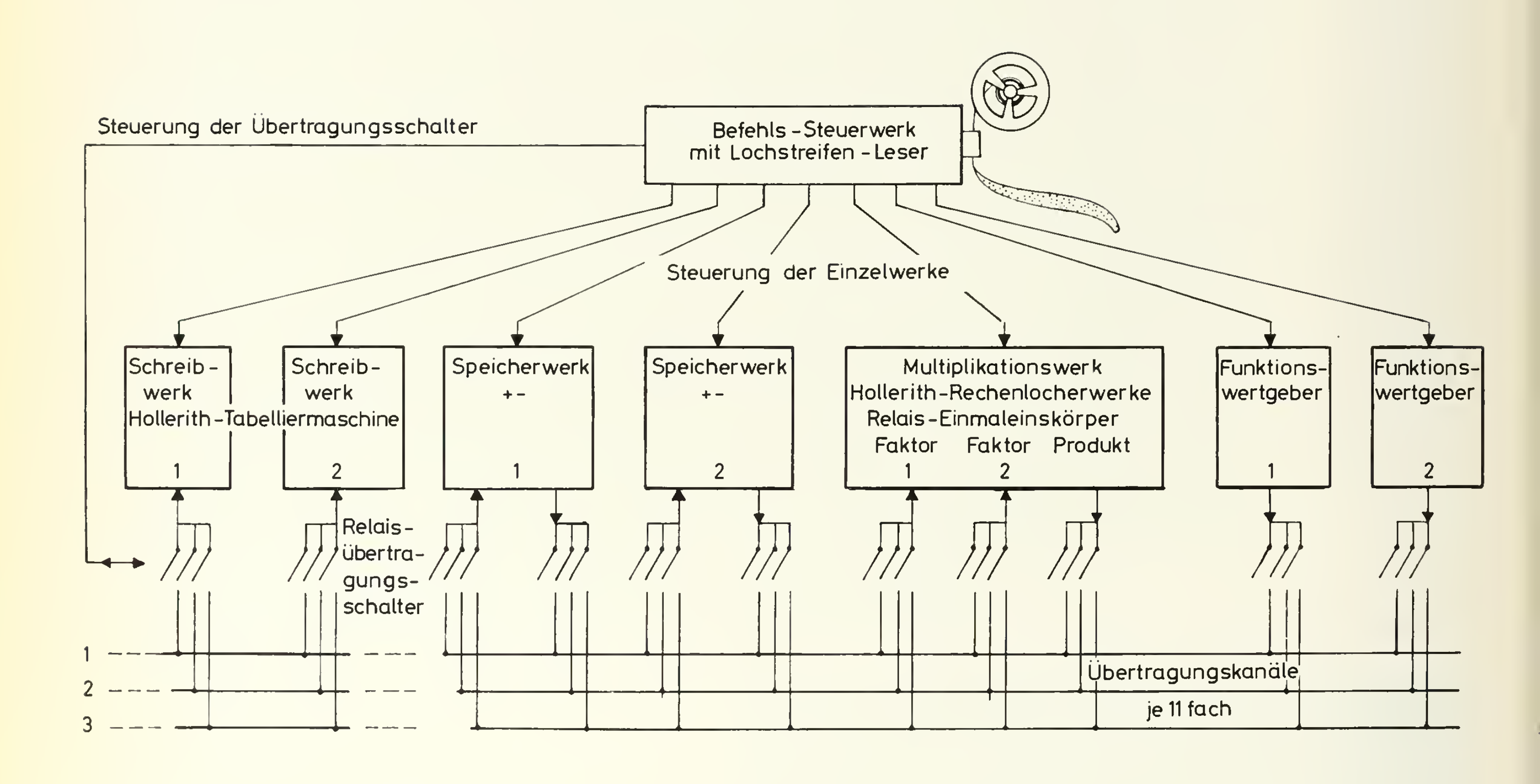


Abb. 13/4.3

Aufbauplan des Rechenautomaten IPM in Entwicklung 1944 an der Techn. Hochschule Darmstadt, Institut für Praktische Mathematik Prof. Dr. A. Walther.

Zusammengestellt aus Zählwerken von Hollerith-Lochkartenmaschinen und Fernschreib-Lochstreifengeräten, Steuerung durch lineares Lochstreifenprogramm geplant.

5 *Relaisrechner*

5.1 *Relaistechnik und erste dezimale Rechenschaltungen*

Die Telegraphen- und anschließend die Fernschreibtechnik mit ihren hohen Anforderungen an Schnelligkeit und Zuverlässigkeit hatten die Elektromechanik zur technischen Reife geführt; das Relais (siehe Abb. 5/8.1.2) als Schaltmittel mit mehreren Ruhe-, Arbeits- oder Umschaltkontakten in stets kleiner werdenden Abmessungen und die in der Vermittlungstechnik eingeführten dezimalen Zähl- und Schrittschaltwerke (Hebdrehwäher) waren zu großer Betriebssicherheit gebracht worden. Es konnte nicht ausbleiben, daß sie bald auch zum Aufbau von dezimalen Rechenschaltungen verwendet wurden. Erste Versuche sind *Nicoladzé* und *Apraxine* [1] zuzuschreiben. *Weygandt* plante 1933 eine dezimale rein elektrische Schaltung mit Drehwählern zum automatischen Berechnen von Determinanten; ein Prototyp bewies die Arbeitsfähigkeit des Vorschlages (Abb. 1/5.1).

Schon vor 1934 entwarf der Rechenmaschinen-Konstrukteur Christel *Hamann* in Berlin elektromechanische Vierspezies-Tischrechenmaschinen unter Ausnutzung von Relais und Schrittschaltwerken; ferner untersuchte er Multiplikationsverfahren in logarithmischer Arbeitsweise mittels eines Rechenschieber-ähnlichen Kontaktschlittens, und Lochbandsteuerung und -speicherung zum schrittweisen Auflösen von linearen Gleichungen (Abb. 2/5.1).

5.2 *Aufgabenstellung für technisch-wissenschaftliche Rechner*

Die nach starrem Schema ablaufenden statischen Berechnungen waren die ersten, für welche Rechenpläne und -vordrucke ausgearbeitet wurden. In ihrer dauernd zu wiederholenden Durchrechnung erschienen sie dem vorwärtsdrängenden Ingenieur als lästiger Hemmschuh und verlangten nach selbsttätig ablaufenden Rechenautomaten mit Programmsteuerung.

Diese Ausgangslage war bestimmend für die Gestaltung des ersten arbeitsfähigen programmgesteuerten Rechenautomaten durch Dipl.-Ing. Konrad *Zuse* in Berlin, der sich 1934 hiermit zu beschäftigen begann. Sie verlangte die Lösung folgender, für alle technisch-wissenschaftlichen Aufgaben charakteristischen Forderungen:

- Wiederholtes Durchrechnen eines vorgegebenen langen Rechenplanes mit relativ wenigen, von Fall zu Fall variierten Zahlen, wobei der Rechenplan (das Programm) im voraus festgelegt ist und nur die je nach Problem wechselnden Zahlen jeweils von Hand eingegeben werden sollen;

- begrenzte Genauigkeit der Ausgangsdaten und daher auch beschränkte Stellenzahl beim Rechnen, wie es der in der Technik üblichen Verwendung des Rechenschiebers entspricht; dafür aber

- stark wechselnde Größenordnung der Zahlen und somit Rechnen mit abgespalteten Zehnerpotenzen.

Die bisher bekannten dezimal rechnenden Maschinen, gleich ob mechanischer oder elektromechanischer Bauweise, konnten hierfür nicht als Vorbild dienen; sie haben wegen der Zehnerübertragung begrenzte Stellenzahl, und vor allem: jedes so arbeitende Getriebe hat naturgemäß zehnwertige Schaltelemente, d. h. Zählrollen mit zehn Ziffern, Koppelelemente mit zehn unterschiedlichen Stellungen. Wie sollten hiermit die Verknüpfungen zwischen den vielen erfoderlichen und schon von Babbage vorgesehenen Baugruppen — Eingabe, Rechenwerk, Programmwerk, Speicher und Ausgabe — in einfacher Weise realisiert werden? Sollte wirklich jede Zählstelle durch 10 elektrische Leitungen oder mechanisch durch Bauelemente mit 10 maßgebenden Stellungen dargestellt werden? Viel einfacher und den technischen Gegebenheiten angepaßt ist ein binäres Zahlensystem, in dem jede Ziffernstelle nur zwei Werte, 0 oder 1, annehmen, das zugehörige Schaltelement beispielsweise nur rechts oder links liegen, als Schalter in einem Stromkreis nur offen oder geschlossen sein kann. Für jede Zählstelle ist daher nur noch ein zweiwertiges Schaltelement erforderlich; allerdings steigt bei rein dualem Rechnen die Gesamtstellenzahl auf das 3,2-fache der bei zehnwertigen Schaltgliedern notwendigen Anzahl, bei dezimal-binärem Zifferncode auf mindestens das 4-fache. Das rein duale Rechnen empfiehlt sich daher und wurde anfangs vorwiegend angewendet für technisch-wissenschaftliche Aufgaben; es ermöglicht den geringsten Aufwand an Bauelementen, bzw. bei seriellem Zeichenablauf hohe Rechengeschwindigkeit; das jedesmalige Umwandeln der natürlich dezimal ein- und auszugebenden Daten in die Dualform zum Rechnen und das Rückwandeln ist hier weniger ausschlaggebend.

Das von *Leibniz* [2] in die abendländische Wissenschaft eingeführte duale Zahlensystem wurde um die Wende des 20. Jahrhunderts mehrmals betrachtet; so wiesen R. *Valtat* in seinem Patent (DRP 664012 vom 23. 7. 1932 — franz. Priorität 12. 9. 1931) [3] und L. *Couffignal* [4, 5] (beide in Paris) auf die Vorteile des dualen Rechnens für einen einfachen Aufbau des Rechenwerks hin. 1936 führte E. W. *Phillips* [6, 7] in London ein Modell (Abb. 3/5.3) zum Multiplizieren im Dual-System vor und empfahl eindringlich, wissenschaftliche Arbeiten und Zahlentafeln mit den Ziffern 0 bis 7 im *Oktalsystem* niederzulegen, weil dieses zweckmäßig zwischen dem dezimalen und dem dualen System vermittle und die dreistelligen Dualcodegruppen für diese 8 Ziffern leicht zu lernen seien. Der Verzicht auf das Dezimalsystem, auf die Ziffern 8 und 9, schien für nur intern zu verwendende Zahlenergebnisse in Tabellen und Tafelwerken einem ohnehin nicht-dezimal zu denken gewohnten Briten nicht schwerwiegend.

Phillips schlug überdies Eingabe der Faktoren durch ein dual-oktal gelochtes Band vor, und erwähnt die Möglichkeit, diese Lochungen lichtelektrisch auszuwerten, wodurch 40 000 Multiplikationen/Stunde zu erreichen seien, und das Ergebnis auszulochen oder photographisch zu registrieren. Seinen Argumenten ist zuzuschreiben, daß tatsächlich einige britische Rechenanlagen im dual codierten Oktalsystem arbeiteten.

Da dual/oktale Anzeige bei dual arbeitenden Rechnern keine Umwandlung ins Dezimale verlangt und also keine Zeit verbraucht, sind die dual rechnenden Anlagen bis heute meist mit einer Oktal-Anzeige am Steuerpult ausgerüstet oder sogar mit oktaler Ausgabe in den Steuerpulten ausgerüstet oder sogar mit oktaler Ausgabe in den Kontroll-Schreibmaschinen; so beispielsweise bei den Rechnern CDC der Typen 160 und 6000 mit Kathodenstrahl- bzw. Lampenanzeige bei den IBM-Modellen 7040 und 7090, bei UNIVAC 490 und 1107, und anderen.

Aus den beiden Binärziffern 0 und 1 kann außer dem dualen Zahlensystem auch ein dezimales in binärem Code aufgebaut werden. Schon Sir Francis *Bacon* beschreibt 1623 eine binäre Verschlüsselung von Buchstaben durch (bei ihm rein duale) Fünfer-Gruppen, wie sie seit Gauß und Weber in der Telegraphentechnik Verwendung fanden (siehe 3.1). Jeder Dezimalziffer ist dann eine Gruppe von mindestens 4 Binärziffern zugeordnet. Wenn auch hierfür mehr Schaltelemente gebraucht werden als für die rein duale Zahlendarstellung, so ist das stellenweise Zuordnen doch einfacher als das Umrechnen, und so arbeitet heute die Mehrzahl der elektronischen Rechenanlagen, insbesondere die für kaufmännische Anwendung, in einem der binären Codes für Dezimalziffern.

5.4 *Konrad Zuse, Pionier programmgesteuerter Automaten*

Zuse (Abb. 4/5.4) entschied sich 1934 für folgende Grundkonzeption einer programmgesteuerten Rechenanlage:

- Auflösen des Rechenablaufs in eine Folge einzelner Grundoperationen, d. h. in ein im voraus eingegebenes Programm mit Operations- und Adreßangaben;

- Verwendung des rein dualen Zahlensystems zum Rechnen (mit dezimaler Ein/Ausgabe und mit selbsttätiger Umrechnung im Gerät) und auch zur Darstellung der Operationsbefehle, daher

- ausschließliche Verwendung zweiwertiger, bistabiler Schaltelemente;

- Erfassen des großen Zahlenbereiches technischer Aufgaben bei beschränkter Genauigkeit durch halblogarithmische Darstellungen mit normierter Mantisse und zugefügtem Exponentteil, der die Lage des Kommas angibt.

5.4.1 *Mechanische Schaltgliedtechnik*

Zuse arbeitete aus dem Lehrgebäude der mathematischen Logik (E. Schröder: Algebra der Logik, 1890—1905) einen für die Arbeitsweise der dualen Rechenautomaten vereinfachten *„Aussagenkalkül"* aus und erkannte vor *Shestakovs* und C. E. *Shannons* [8] grundlegenden Veröffentlichungen, daß sich alle Zahlenrechnungen allein mit drei Grundoperationen der Logik, nämlich den Verknüpfungen UND, ODER und der NEGATION, ausführen lassen, und daß die JA/NEIN-Aussage der binären Zahlen ebenso für ihre logische Verbindung anwendbar ist. Demgemäß schuf er sich binäre, bistabile Schaltelemente für diese drei Operationen und zum Speichern von Dualzahlen. Bemerkenswerterweise versuchte er zuerst, mechanische Bauelemente dafür zu verwenden, die aus übereinanderliegenden Blechen aufgebaut waren, die durch in Schlitzen verschiebare Stiftchen (Abb. 5/5.4.1) verkoppelbar waren. Diese Bauweise ist äußerst raumsparend und bei exakter Herstellung durch Stanzen in Serienfertigung sicherlich extrem preiswert; die Arbeitsgeschwindigkeit ist nicht geringer als die von Relais, wenn die Schieber nur leicht, plan und sorgfältig ausgestanzt sind, also nicht klemmen oder reiben. Hierin lag die Hauptschwierigkeit bei den ersten Versuchsgeräten, deren Elemente mit primitivem Werkzeug einzeln von Hand hergestellt waren und daher nicht die erforderlichen Toleranzen einhalten konnten. Umso höher ist einzuschätzen, das es Zuse gelang, im Jahre 1937 ein Speicherwerk für 64 Zahlen fertigzustellen und noch im gleichen Jahr auch das vollständige Rechenwerk aufzubauen und vorzuführen.

Diese Rechenanlage ZUSE Z 1 (Abb. 6-8/5.4.1) bestand der ursprünglichen Konzeption entsprechend aus folgenden Hauptgruppen:

- Eine Volltastatur zum Eingeben der Zahlenwerte, d. h. von 4 geltenden Ziffern (Mantisse) und der Kommastellung (Exponent). Mit der Tastatur verbunden war das Anzeigewerk, welches ebenfalls vierstellig die geltenden Ziffern sowie die Kommastellung des Ergebnisses durch Glühlampen aufzeigte.

- Ein Leitwerk mit 86 Bedienungsgliedern für arithmetische Operationen sollte vom Lochstreifen her eingestellt werden und erhielt wie die anderen Baugruppen seinen Arbeitstakt von Nockenscheiben einer Hauptsteuerwelle als gemeinsamen Impulsgeber.

- Das mechanische Speicherwerk für 64 Zahlen war über ein duales Wählwerk zur programmgesteuerten Auswahl der jeweils anzusprechenden Speicherzellen, d. h. zur Decodierung der Zellennummer, mit den beiden Rechenwerken für Mantissen- und Exponent-Zahlen verbunden; seine Zellen konnten zum Speichern und Ablesen beliebig angerufen weren. Multiplikatorsteuerung, Operandenregister und andere Hilfseinrichtungen ergänzten den Aufbau.

Hauptsächlich wegen der Unvollkommenheit der mechanischen Teile infolge der primitiven Herstellungsweise war die Z 1 nicht in allem funktionsfähig; und eine Weiterentwicklung in gleich mühsamer und dennoch einen Erfolg nicht garantierender Handarbeit erschien unzweckmäßig. Zuse ging daraufhin dazu über, provisorisch, sozusagen zur Erprobung

seiner Rechenschaltungen, diese in Relaisbauweise auszuführen; es lag ihm daran, die Richtigkeit seiner Schaltungslogik und die Arbeitsfähigkeit der Geräte zu beweisen, Interessenten zu überzeugen um dann mit mehr als nur den eigenen begrenzten finanziellen Mitteln zur als vorteilhaft erkannten mechanischen Technik zurückzukehren.

Die sogleich begonnene Maschine ZUSE Z 2 sollte das bewährte Speicherwerk der Z 1 mit einem neuen Relais-Rechenwerk kombinieren. Dieses war 1939 in den wichtigsten Baugruppen arbeitsfähig (Abb. 9/5.4.1). Der Kriegsausbruch unterbrach jedoch vorerst den völligen Abschluß der Arbeiten.

5.4.2 *Relaisrechner Z 3, die erste programmierte Rechenanlage*

Im Auftrag der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt wurde ein neues, leistungsfähiges Rechengerät entwickelt und 1941 fertiggestellt: ZUSE Z 3 (Abb. 10 und 11/5.4.2). Es erreichte eine Rechengeschwindigkeit von 15—20 arithmetischen Operationen je Sekunde und führte eine Multiplikation in 4—5 Sekunden aus — das ist etwas schneller als es die erste große ballistische Rechenanlage in den USA vermochte. Es war von vornherein als universelles Rechengerät entworfen und einzusetzen.

Diese programmgesteuerte Rechenanlage Z 3 enthielt ein Rechenwerk aus 600 Relais und einen Relaisspeicher für 64 Zahlen zu 22 Dual- bzw. etwa 7 Dezimalstellen (Vorzeichen, etwa 4 Dezimalen Mantisse, etwa 2 Dezimalen Zehnerpotenz); insgesamt waren 2600 Relais eingebaut. Das Rechenprogramm wurde aus einem — mit einem 8-Tasten-Handlocher hergestellten — gelochten Kinofilmstreifen (8 Spuren) abgetastet, die Zahl der Programmschritte war daher nicht durch die Speicherkapazität begrenzt. Außerdem waren neben den Grundoperationen $+ - \times :$ noch die Operationen Wurzelziehen und Multiplikation mit 2, $^1/_2$, 10, 0,1 und -1 fest eingebaut. Das bereits als Grundgedanke des mechanischen Aufbaus mit einer Hauptsteuerwelle erwähnte Prinzip ermöglichte, die Relaiskontakte stromlos umzuschalten; es wurde hier streng durchgeführt. Eine lange Schaltwalze mit hochbelastbarem Abgriff gab den Rechentakt bzw. die Schaltimpulse an alle vorher umgeschalteten Steuerrelais des Rechners; jedes Funken, jeder Materialabbrand an den Kontakten wurde dadurch vermieden und äußerste Zuverlässigkeit erreicht.

Die Abb. 10/5.4.2 zeigt das Äußere der Z 3.

Hiermit war 1941 die erste voll arbeitsfähige programmgesteuerte Rechenanlage der Welt geschaffen, und zwar aus persönlicher Initiative und unter — wenigstens bis 1940 — alleinigem Einsatz eigener Mittel, — nur unterstützt durch die Mithilfe einiger Studienfreunde.

Später wurde die Arbeit gefördert durch die Anteilnahme der Herren Prof. Teichmann der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, Prof. H. Wagner in Berlin und Prof. Dr. A. Walther von der Technischen Hochschule Darmstadt, der in der Werkstatt seines Instituts für Praktische Mathematik die elektrisch angesteuerten Locher für den Programmfilm bzw. für zu lochende Zwischenergebnisse anfertigen ließ und die Herstellung weiterer Einzelteile zur Z 4 (z. B. von Stanzwerkzeugen) vermittelte.

5.4.3 *Spezialrechner*

Außer dieser ZUSE Z 3 konstruierte und baute K. Zuse mit seinen wenigen Mitarbeitern der inzwischen begründeten Firma Zuse-Apparatebau Berlin noch zwei Spezialgeräte für die Errechnung der Leitflächen-Verstellung nach Maßgabe der mit Meßuhren angetasteten Profilform-Abweichung der Tragflächen von Flugkörpern. Das erste — mit Eingabe der rd. 100 Meßwerte von Hand — war schon 1942 bis 1944 bei den Henschel-Flugzeugwerken in mehrschichtigem Einsatz. Ein zweites, nach den guten Erfahrungen mit diesem ersten in Auftrag gegebenes, war bereits mit selbsttätigem Abgriff der Profilform durch Meßuhren mit angebautem Digital-Abgriff (0,01 mm/Impuls ausgerüstet. Beide Spezialrechner hatten ein fest verdrahtetes Programm, durch Schrittschaltwerke realisiert, und 600 Relais. Auch das zweite wurde 1944 noch fertiggestellt (Abb. 12/5.4.3), kam jedoch nicht mehr zum Einsatz: alle bisherigen Rechengeräte gingen 1944 in Verlust, alle Bauunterlagen, Zeichnungen und die Fertigungsstätten dafür wurden vernichtet.

Seit 1942 entwarf Zuse eine noch leistungsfähigere universelle Rechenanlage mit Lochfilmprogramm in Relaisbauweise des Rechenwerkes und mit größerem, wieder mechanischen Speicher. Trotz der widrigen Umstände wurde diese Z 4 noch Anfang 1945 fertiggestellt. Im Frühjahr 1945 wurde der Rechner in Göttingen vorgeführt, dann im Süden Deutschlands in Sicherheit gebracht.

ZUSE=RECHENGERÄTE

HERAUSGEGEBEN VOM ZUSE-INGENIEURBÜRO HOPFERAU

I.) Allgemeines.

Die technische Entwicklung der letzten Jahrhunderte hat sich damit befaßt, die Hilfsmittel zur Verstärkung der menschlichen Sinnes- und Körperkräfte immer höher auszubilden. Es ist daher eine folgerichtige Fortsetzung dieser Entwicklung, wenn man zur Beherrschung des gesteigerten physischen Vermögens heute daran geht, auch die geistigen Kräfte des Menschen in umfassender Weise zu verstärken, indem Maschinen zur Lösung von Aufgaben herangezogen werden, welche bisher einen großen Teil der geistigen Arbeitskraft gebunden haben.

II.) Aufgabenbereich der Zuse-Gerätentwicklung.

Die von Dipl. Ing. Konrad Zuse begonnene Gerätentwicklung ermöglicht es, über das Rechnen mit Zahlen hinausgehend, das gesamte Gebiet der schematischen kombinatorischen Denkoperationen zu mechanisieren.

Wir erkennen, welches große Aufgabengebiet der maschinellen Lösung erschlossen wird, wenn wir uns vergegenwärtigen, daß eine der wichtigsten geistigen Funktionen die Auswertung irgendwelcher gegebener Angaben, wie Beobachtungen, Daten usw. ist, welche man z. B. nach bestimmten Gesichtspunkten ordnet, aus ihnen nach gewissen Vorschriften Schlüsse zieht, und auf diese Weise durch Ausführen „kombinatorischer Denkaufgaben" zu folgerichtigen Ergebnissen kommt.

Zuse hat mit der von ihm begonnenen Entwicklung den Weg zur Konstruktion von Geräten beschritten, die nach den Anweisungen einer allgemeinen mathematischen „Zeichensprache" rechnen können. Diese Zeichensprache ist auf kein bestimmtes Anwendungsgebiet spezialisiert, indem sie z. B. die Gesetzmäßgkeiten der Addition und der anderen Operationen der Zahlenrechnung mit den gleichen Mitteln darstellt, wie etwa die Bewegungsgesetze der Figuren des Schachspiels oder die Gedankengänge beim Entwurf einer Brücke.

Wie der Begriff „Rechnen" in der Umgangssprache auch auf Operationen angewendet wird, die mit Zahlen nichts zu tun haben brauchen, indem wir z. B. sagen, daß wir mit dem Eintreten dieser und jener Ereignisse „rechnen", so ist auch der Aufgabenbereich der Zuse-Rechenmaschinen ein allgemeiner, in welchem die Zahlenrechnung zwar eine große Bedeutung hat, sie aber nur einen Teil der mechanisierbaren schematischen Denkaufgaben darstellt.

III.) Überblick über die Entwicklung.

Die Entwicklung begann, als Konrad Zuse, durch die Gleichförmigkeit sich stets wiederholender statischer Rechnungen veranlaßt, 1935 daran ging, Geräte zu bauen, welche lange und umständliche Zahlenrechnungen vollautomatisch nach einer, für einen bestimmten Aufgabentyp in einem Lochstreifen festgelegten Vorschrift durchzuführen, sodaß bei wiederholten Durchrechnungen der gleichen Aufgabe nur die Ausgangszahlenwerte in die Maschine gegeben werden brauchen, und nach einiger Zeit das Resultat selbsttätig erscheint.

Zuse fand seinerzeit für seine Arbeiten wenig Verständnis und Unterstützung. Erst 1944 wurde die Rechenmaschinenentwicklung in eine Dringlichkeitsstufe eingereiht, welche die Aufnahme der Entwicklung in größerem Rahmen ermöglichte, die dann jedoch durch den Bombenkrieg und das Kriegende wieder unterbrochen wurde. Es wurden bisher 9 Geräte gebaut, welche — von einem Versuchsgerät abgesehen — entweder als „allgemeine" Rechenmaschinen für allgemeine Zahlenrechnungen bestimmt waren, oder als Spezialgeräte für spezielle Rechnungen wie z. B. im Flugzeugbau eingesetzt wurden. Von diesen Geräten blieb ein allgemeines Zahlenrechengerät erhalten, welches kürzlich wieder in Betrieb genommen wurde, während die übrigen durch Kriegsereignisse verloren gingen.

IV.) Zur Theorie der Zuse-Geräte

Von Anbeginn erkannte Zuse die entscheidenden Vorteile, welche die Abkehr vom Dezimalsystem und der Übergang auf das Zahlensystem mit der Basis 2 (Dualsystem) für das maschinelle Rechnen bringen würde. Die formalen Zusammenhänge werden mittels eines besonderen Zweiges der Mathematik, der sog. Logistik, beherrscht. Die Logistik lehrt, daß sich sämtliche Rechenprobleme, die der Zahlenrechnung, wie auch allgemeine schematisch kombinatorische Denkaufgaben, in eine Folge von zweifach variablen Angaben, sogenannter „Ja-Nein-Werte" auflösen lassen. Ja-Nein-Werte können in einfachster Weise praktisch dargestellt werden, indem zum Beispiel jeder Schalter, der zwei Stellungen, wie „Ein-Aus" einnehmen kann, einen Ja-Nein-Wert konstruktiv verwirklicht. Diese „Schalter" gibt es in mannigfacher Form. So z. B. stellen

die aus der Fernsprechtechnik bekannten elektromagnetischen Relais, deren Anker „angezogen" oder „abgefallen" ist,

Elektronenröhren, die als Ventile wirken, welche den Strom entweder „durchlassen" oder „nicht durchlassen",

einfache mechanische Schaltglieder, welche entweder „gekuppelt" oder „nicht gekuppelt" sind, solche „Schalter" dar, welche wir ihrer Funktion entsprechend, ohne Rücksicht auf die spezielle Konstruktion als „Relais" bezeichnen.

Die Logistik lehrt ferner, daß sämtliche denkbaren Rechenoperationen auf die drei Grundoperationen (Konjunktion, Disjunktion, Negation) eines bestimmten Formalismus (des sog. Aussagenkalküls) zurückgeführt werden können. Diese drei Grundrechenoperationen können ihrerseits in einfachster Form durch Relaisschaltungen dargestellt werden.

Mit der Erkenntnis, daß grundsätzlich sämtliche Rechenaufgaben mit Relaisschaltungen zu lösen sind, war eine beträchtliche Erweiterung gegenüber der ursprünglichen Zielsetzung verbunden, indem die Beherrschung des Zahlenrechnens auf der Basis des Dualsystems gleichzeitig die Möglichkeit eröffnete, sämtliche kombinatorischen, schematischen Denkaufgaben grundsätzlich mit gleichen konstruktiven Mitteln wie die Aufgaben der Zahlenrechnung zu lösen. Das Ergebnis weiterer theoretischer Arbeiten war ein mathematischer Formalismus, den Zuse in den letzten Jahren entwickelte, der es gestattet, allgemeine kombinatorische Denkaufgaben — frei von jeder Spezialisierung auf ein bestimmtes Anwendungsgebiet — in eine allgemeine mathematische Form zu bringen, welche den Ausgangspunkt für die maschinelle Lösung derartiger Probleme darstellt.

V.) Folgende Planung liegt der vorgesehenen Wiederaufnahme der Zuse-Rechengerätentwicklung zugrunde:

1.) Einsatz des Zahlenrechengerätes.

Um interessierte Kreise mit dem Wesen der automatischen Durchführung von Zahlenrechnungen vertraut zu machen, ist es vorgesehen, das aus dem Zusammenbruch gerettete Rechengerät zur Durchführung von Rechnungen in Hopferau zur Verfügung zu stellen.

Das Gerät löst automatisch von den Ausgangswerten bis zum Resultat sämtliche Zahlenrechnungen, welche sich in die Grundoperationen einschließlich Division und Wurzelziehen auflösen lassen. Für jeden Aufgabentyp wird ein Lochstreifen (Rechenplan) gestanzt, der für alle weiteren zahlenmäßigen Durchrechnungen des gleichen Problems gilt, sodaß das Gerät besonders zur Lösung von Aufgaben geeignet ist, welche nach einem bestimmten Schema mit von Fall zu Fall verschiedenen Zahlenwerten durchzurechnen sind. Z. B. stellt die Lösung von Gleichungssystemen eine typische Aufgabe dar.

Nähere Ausführungen enthält ein besonderer Bericht, welchen wir gegebenenfalls anzufordern bitten.

2.) Entwicklung eines Seriengerätes für die Zahlenrechnung.

Auf der Grundlage einer besonderen, von Zuse entwickelten Stanzkonstruktion, welche für die Serienfertigung besonders geeignet ist, soll ein Serien-Gerätetyp zur automatischen, lochstreifengesteuerten Durchführung langer Zahlenrechnungen entwickelt werden. Das Gerät wird entsprechend den Wünschen von Fachleuten auf den verschiedenen Gebieten so durchgebildet werden, daß es universell verwendet werden kann; es also in gleicher Weise technische Rechnungen, wie auch Aufgaben aus der kaufmännischen Praxis, der Betriebskalkulation usw. löst, und im Klein- und Mittelbetrieb die Aufgaben erfüllt, welche die Hollerith-Maschinen im Großbetrieb ausführen. Die serienmäßige Fertigung dieser Geräte gestattet die Lieferung in einer Preislage, welche den Einsatz der Rechenmaschine bereits im Klein- und Mittelbetrieb rentabel macht.

3.) Entwicklung eines „logistischen" Gerätes.

Die Bezeichnung „logistisches" Gerät für diesen neuartigen Gerätetyp wurde deshalb gewählt, um diese Geräte, welche vorwiegend kombinatorische Denkaufgaben lösen, gegen die Zahlenrechengeräte abzugrenzen.

Es soll in diesem Rahmen nur versucht werden, an Beispielen das Wesen dieser Geräte zu erläutern, woraus sich Anwendungsmöglichkeiten auf den verschiedenen Gebieten von selbst ergeben.

a) Logistische Geräte könnten Schach spielen, d. h. aus bestimmten Figurenkombinationen Schlüsse ziehen bzw. Züge angeben, welche zu einem bestimmten Ziel führen.

   Das Schachspiel stellt nicht etwa eine der geplanten typischen Anwendungen logistischer Geräte dar. sondern veranschaulicht lediglich ihr Wesen, indem die kombinatorischen Denkaufgaben des Schachspiels für weite Kreise einen bekannten Begriff darstellen.

b) Alle automatischen Zahlenrechengeräte, einschl. der amerikanischen Großgeräte, arbeiten sämtlich nach irgendwelchen Vorschriften, welche z. B. in Form eines Lochstreifens oder bestimmter Steckerverbindungen vor Beginn der maschinellen Rechnung von Hand gegeben werden müssen, was je nach Umfang der zu behandelnden Probleme eine sehr langwierige, von Spezialisten vorzunehmende Arbeit sein kann.

   Das logistische Gerät kann die Fertigung solcher Rechenpläne übernehmen, indem es z. B. von einem ihm vorgelegten Problem feststellt:

   „Es handelt sich um ein System linearer Gleichungen mit n-Unbekannten" und daraufhin die Reihenfolge der vorzunehmenden Rechenoperationen angibt, wie sie zur späteren zahlenmäßigen Durchrechnung erforderlich ist.

   Das Resultat ist also eine formelmäßige Rechenanweisung für ein System linearer Gleichungen mit n-Unbekannten.

c) Es soll eine Brücke gebaut werden. Die Ausgangsangaben sind:

   > Grundsätzliche Angaben über Konstruktion: z. B. Bogenbrücke mit drei Öffnungen; Bautechnik: z. B. Stahlbau geschweißt; Länge der Brücke, Durchfahrtbreiten und -Höhen.

   Die Maschine liefert als Ergebnis:

   > Vollständigen Entwurf des Systems mit seinen konstruktiven Einzelheiten. Statische Berechnung. Gewichts- und Massenermittlung. Kostenvoranschlag. Mechanische Anfertigung der Konstruktionszeichnungen, einschließlich aller Details.

Wir erkennen an diesen Beispielen, daß die Aufgabenstellung an das Gerät, sowie die von ihm gelieferten Resultate bereits von höherem Rang sind, als bei den Geräten der Zahlenrechnung. Diese wird, da sie selbst eine schematische Denkoperation darstellt, als Untergruppe gleichfalls

von logistischen Geräten beherrscht. Es wäre grundsätzlich möglich, ein „allgemeines" logistisches Gerät zu bauen, welches Löhne berechnen, Brücken konstruieren, Integrale lösen oder Schach spielen kann, da die Denkoperationen im Gerät abstrakt durchgeführt werden, und erst eine entsprechende Voreinstellung des Gerätes ihnen die „Bedeutung" im speziellen Fall zuordnet. In der Praxis wird man jedoch die Geräte auf einzelne Wissensgebiete wie z. B. auf die Wetterrechnung oder das Bauwesen spezialisieren, um sie möglichst einfach zu gestalten.

Auf Grund des theoretischen Entwicklungsstandes ist es möglich, derartige Geräte in einer angemessenen Entwicklungszeit produktionsreif zu machen.

4.) Höchstgeschwindigkeits-Rechengeräte.

Wie bereits aus den Ausführungen unter IV.) hervorgeht, ist der Schaltungsentwurf der einzelnen Zuse-Geräte unabhängig von der Art der verwendeten Relaistechnik. Sämtliche Gerätetypen können sowohl mit elektromagnetischen, mechanischen- oder Elektronenröhrenrelais ausgeführt werden.

Während die Rechengeschwindigkeit bei mechanischen oder elektro-magnetischen Konstruktionen ca. 1 Operation sec beträgt, läßt sie sich bei Verwendung von Elektronenröhren auf das 1000—10 000fache steigern.

Die hohe Rechengeschwindigkeit hat bei sehr umfangreichen wissenschaftlichen Problemen entscheidende Bedeutung, eine Erkenntnis, welche zu Beginn des Krieges Dr. Ing. Schreyer veranlaßte, auf den Zuse-Prinzipien aufbauend ein Versuchsgerät mit Elektronenröhren zu bauen. Diese Entwicklung mußte indessen wegen Schwierigkeiten der Röhrenbeschaffung fallen gelassen werden, doch kann sie jederzeit wieder aufgenommen werden, sobald die Materiallage es erlaubt.

VI.) Schlußbemerkung.

Mit der Mechanisierung schematischer geistiger Arbeiten auf breiter Grundlage beginnt ein neuer Abschnitt der Technik.

Die in diesem Zusammenhang auftretenden Probleme sind so umfangreich, daß eine Generation von Wissenschaftlern, Technikern und Wirtschaftlern erforderlich sein wird, um sie erschöpfend zu bearbeiten.

Da die Entwicklung der beschriebenen Rechengeräte ihre umfassendste Anwendung auf friedlichem, und uns daher erlaubten Gebieten finden kann, welche über das theoretische Interesse hinaus größte praktische Bedeutung hat, möchten wir auf die Möglichkeiten hinweisen, welche sich für unsere Gerätebauindustrie und Forschungsinstitute durch das Ausziehen einer gegebenenfalls gemeinschaftlichen Entwicklung ergeben. Die deutsche Leistungsfähigkeit auf feinmechanischem Gebiet könnte auf der Grundlage der bereits geleisteten theoretischen Entwicklungsarbeiten unserer Gerätebauindustrie eine führende Stellung auf diesem für die Zukunft wichtigen Gebiet schaffen.

Nachdruck eines Informationsblattes
vom ZUSE-Ingenieurbüro

Oktober 1947

5.4.4 *Erste Versuche mit Röhrenschaltungen*

Trotz seiner Erfolge mit Relaisschaltwerken hatte K. Zuse seit 1937 die Verwendung von Elektronenröhren in Betracht gezogen; sein Mitarbeiter H. *Schreyer* hatte spezielle Röhren und Schaltungen entwickelt. Hierüber wird in Abschnitt 8.1.3.2 berichtet.

5.4.5 *Plankalkül — die Lehre vom automatischen Rechnen*

Parallel zu diesen konstruktiven Arbeiten baute K. Zuse seine unter 5.4.1 erwähnte Schaltungslogik aus zu einer „allgemeinen Theorie des Rechnens" und arbeitete an einer Erweiterung zum *„Plankalkül"*, welcher nicht nur das Zahlenrechnen, sondern kombinatorische Verknüpfungen insgesamt behandelte. Hiermit sollte ein Werkzeug zur Formulierung und Behandlung der Probleme komplizierter Rechenprogramme und logistischer Entscheidungen geschaffen werden.

Einerseits wurden damit sehr viel später erst aktuell werdende Bemühungen um eine „Algorithmische Programmiersprache" einschließlich der bedingten Befehle und der Befehlsumrechnung vorweggenommen, andererseits die ebenfalls erst später realisierte instrumentelle Lösung rein logischer Operationen und Formeln ermöglicht (ein kleines logisches Rechengerät-Modell entstand um 1944). Leider wurden diese Arbeiten danach nicht veröffentlicht, ebensowenig wie grundsätzliche Gedanken über damit zusammenhängende kausalphilosophische Fragen, deren Manuskript von 1948 der Autor als Durchschlag besitzt.

Im Gegensatz zu der im nächsten Abschnitt beschriebenen Entwicklung von Relais-Rechenwerken in den USA hatte Zuse von Anfang an einen universellen programmgesteuerten Rechenautomaten im Sinn; er erreichte sein Ziel mit äußerst ausgefeilter Logik und sparsamstem Aufbau, erzwungen durch beengendsten Mangel an Mitteln und Unterstützung. In den USA war unbekümmerter Zusammenbau von großen Spezial-Anlagen ohne Rücksicht auf Kosten und Wirtschaftlichkeit möglich, gefördert durch fast unbegrenzten Zufluß von staatlichen Geldern; die gedanklichen Grundlagen für einen zweckmäßigen Schaltungsaufbau wurden nur langsam erarbeitet.

Welchen Wert Zuse selbst auf die logischen Grundlagen seiner Rechenautomaten und auf die Möglichkeiten legte, die deren Ausweitung zu „logistischen" Anlagen bietet, geht am besten aus seiner vorstehend wiedergegebenen Druckschrift hervor, die er im Jahre 1947 verfaßte — einerseits als Ergebnis seiner langjährigen Entwicklungsarbeiten, andererseits als Hinweis auf die bis heute noch nicht voll realisierten Erkenntnisse.

Literatur:

Zuse K.: Über den allgemeinen Plankalkül als Mittel zur Formulierung schematisch-kombinativer Aufgaben. Arch. Math. 1 (1948/49), H. 6, S. 441–449.

5.4.6 *Weitere ZUSE-Relaisrechner nach 1945*

Durch Stromsperren und Materialmangel behindert, gelang es K. Zuse nur mühsam, die im Schweinestall eines Bauernhauses demontiert abgestellte und so erhaltene Rechenanlage ZUSE Z 4 im Allgäu wieder zusammenzubauen und arbeitsfähig zu machen (Abb. 18/5.4.6). Gegenüber der Z 3 hatte die Z 4 eine größere Wortlänge von 32 Bits, etwas höhere Arbeitsgeschwindigkeit (25-35 Operationen je Minute) und wieder das mechanische Speicherwerk (Abb. 15/5.4.6), das für 64 Zahlen ausgebaut, aber für 500 vorgesehen war. Später erhielt sie zusätzlich noch einen Ringkernspeicher, der direkt von den Relais angesprochen wurde, so daß die sonst so aufwendigen elektronischen Schreibverstärker entfallen konnten.

Inzwischen hatte die nun offizielle Kenntnis der amerikanischen Rechenautomaten auch in Europa den Wunsch nach solchen „giant brains" wach werden lassen; so kam die Z 4 zur beiderseitigen Zufriedenheit im Jahr 1950, vorerst für 5 Jahre angemietet, zur Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich unter die Obhut von Prof. Stiefel. Vorher waren noch Lochfilmabtaster auch zur Zahleneingabe angebaut und be-

dingte Sprungbefehle eingeführt worden. Das Gerät (Abb. 13 — 17/5. 4. 6) erwies sich in Zürich als derart zuverlässig, daß es (bis 1955) die Nächte hindurch auch ohne Aufsicht in Betrieb sein konnte.

Anschließend arbeitete die Z 4 im Laboratoire des Recherches in St. Louis unter Prof. Schardin (Weil am Rhein), von wo sie nach langer, voll befriedigender Arbeit im Dezember 1959 zurückersteigert wurde; jetzt ist sie dem Deutschen Museum in München gewidmet.

Obschon die amerikanischen „Elektronengehirne", voran der ENIAC (siehe Abb. 1/6.1) inzwischen bewiesen hatten, daß die Pläne von Zuse und Schreyer (siehe 5.4.4 und 8.1.3.2), mit Elektronenröhren und Glimmlampen bzw. Dioden sehr schnelle Rechenschaltungen aufzubauen, weder phantastisch noch unnütz gewesen waren, sondern zu brauchbaren Rechenautomaten höchster Leistung führten, waren doch die geringe Zuverlässigkeit sowie der hohe Raum- und Kostenaufwand der ersten Elektronenrechner erschreckend. Die Lebensdauer der Tausende von Röhren war zu gering, die Ausfallzeit mit meist über 50% untragbar hoch. Zuse entwickelte daher mit Recht zunächst in der bewährten zwar langsamen, aber preiswerten und zuverlässigen Relais-Technik weiter und baute die Rechenanlage ZUSE Z 5 speziell für optische Berechnungen nach gleichen Grundsätzen wie die Z 4, jedoch mit 6-facher Geschwindigkeit und mit mehreren Lochbandabtastern zur mit bedingten Sprungbefehlen gesteuerten Eingabe von Unterprogramm-Schleifen.

Anschließend widmete sich Zuse der Entwicklung von Rechenwerken Z 6 und Z 8 in mechanischer Schaltgliedtechnik und eines Zusatzgerätes in Relaisbauweise (auch elektronisch ausgearbeitet) zum Rechenlocher „Powers M 9" der schweizerischen Remington Rand (Abb. 19/5.4.6). Dieses Modell wurde in kleiner Serie gebaut unter der internen Bezeichnung Z 9.

In der verhältnismäßig großen Zahl von 42 Stück wurden die Spezialrechner ZUSE Z 11 gebaut. Sie entstanden auf Grund einer Anregung von *Seifers*, der am Geodätischen Forschungsinstitut in München 1953-54 selbst ein Rechengerät SM 1 (Abb. 20/5.4.6), speziell für vermessungstechnische Aufgaben gebaut hatte. Z 11 wurde vorwiegend für diese Aufgaben, aber auch für optische Berechnungen eingesetzt. Die fest verdrahtete Programmierung wurde später durch 4 Leser für Lochstreifen-Programme erweitert, so daß die Z 11 (Abb. 21 — 23/5.4.6) für viele andere Zwecke universell brauchbar wurde.

Z 12 (Abb. 24/5.4.6) war eine Divisionsschaltung als Zusatz zu Wiegeautomaten der Fa. Schenck, die aus dem Gewicht und einer eingetasteten Länge das Metergewicht errechnen konnte. Als Z 15 wurde eine spezielle Kombination zum Lochen und Auslisten von Programmstreifen zur Z 11 bezeichnet.

Damit findet wohl die Phase der Relaistechnik im Bau von Rechenanlagen ihren Abschluß; doch werden die neuen Relaisbautypen — z. B. unter Schutzgas eingeschmolzene und ultraschnelle mit Zungenanker — und auch die Koordinatenschalter immer noch für besondere Zwecke brauchbar bleiben, wenn nämlich bei überwiegend manueller Eingabe der Daten die langsame Arbeitsweise nicht störend wirkt, oder auch für „real time"-Prozeßrechner, die nicht immer besonders schnell sein müssen. Hierfür hat das Institut für Praktische Mathematik der Technischen Hochschule Darmstadt einen speziellen asynchronen Relaisrechner „ASPERA" entwickelt, dessen Operationsablauf außer vom Programm auch von der Vollzugsmeldung jedes vorhergehenden Befehlsschrittes gesteuert wird, was absolute Sicherheit gewährleistet [9]).

Konrad Zuse erhielt in Würdigung seiner Verdienste von der TH Berlin die Würde eines Dr.-Ing. ehrenhalber, von der American Federation of Information Processing Societies eine der bedeutendsten Auszeichnungen für wissenschaftliche Leistungen, die „Harry Goode Memorial Award" (1. 12. 1965), und den Werner von Siemens-Ring.

Literatur:

[1] *d'Ocagne in Communications Acad. Sci. Paris, Jan. 1928 und Nov. 1932.*

[2] *Leibniz, G. W.: De dyadicis. In: Leibnizens mathematische Schriften. ed. C. I. Gerhardt, Bd. 7, Halle 1863, S. 223–227 und 228–234.*

[3] *Valtat, R.: Machines à calculer fondées sur l'emploi de la numération binaire. Comptes rendus Acad. Sci. Paris, Mai 1936.*

[4] *Couffignal, L.: Sur l'emploi de la numération binaire dans les machines à calculer et les instruments nomo-mécaniques. Comptes rendus Acad. Sci. Paris 202 (1936), S. 1970–72.*

[5] *Couffignal, L.: Sur l'analyse mécanique – Application aux machines à calculer et aux calculs de la mécanique céleste. Thèse Fac. Sci., Paris 1938.*

[6] *Phillips, E. W.: Binary Calculation. J. Inst. of Actuaries LXVII, Part III No. 319, 1936.*

[7] *Phillips, E. W.: Babbage, Electronic Computers and Scales of Notation. The Post Magazine & Insurance Monitor, 6. Dec. 1962, S. 1735–1737.*

[8] *Shannon, C. E.: A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits. Trans. Amer. Inst. Electr. Engrs. Bd. 57 (1938), S. 713.*

[9] *Hauck, H.: Asynchrone Steuerung von Informationsflüssen. NTZ (1964) 1, S. 19–23.*

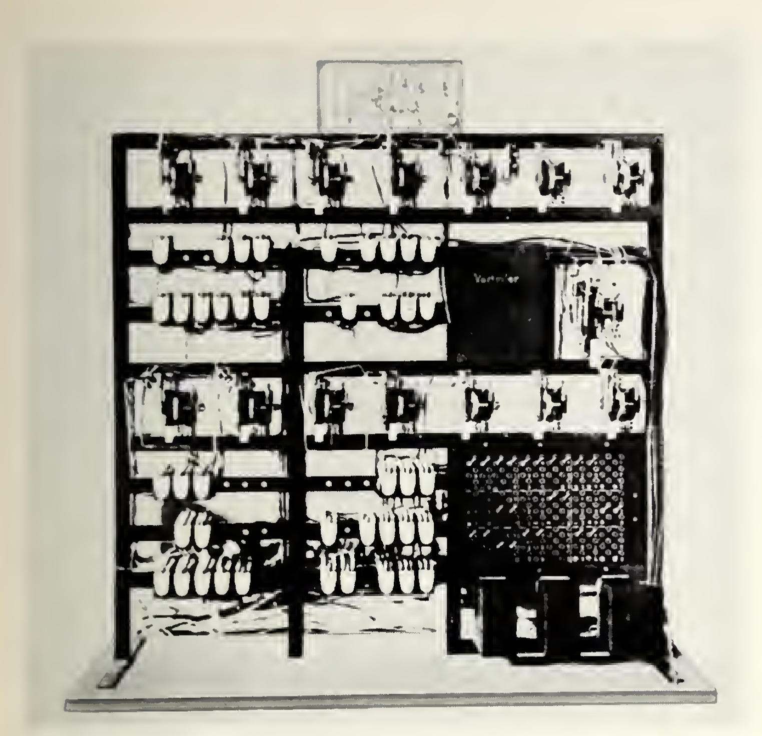


Abb. 1/5.1

Weygandt: Determinantenrechner
Dezimale Relais-Rechenschaltung zum Auflösen von Determinanten, als Modell für drei Reihen aufgebaut aus Schrittschaltwerken und Relais; Ziffern durch Stecktafeln eingegeben; aus ZAMM Bd. 53 (1938) März, S. 114-121.

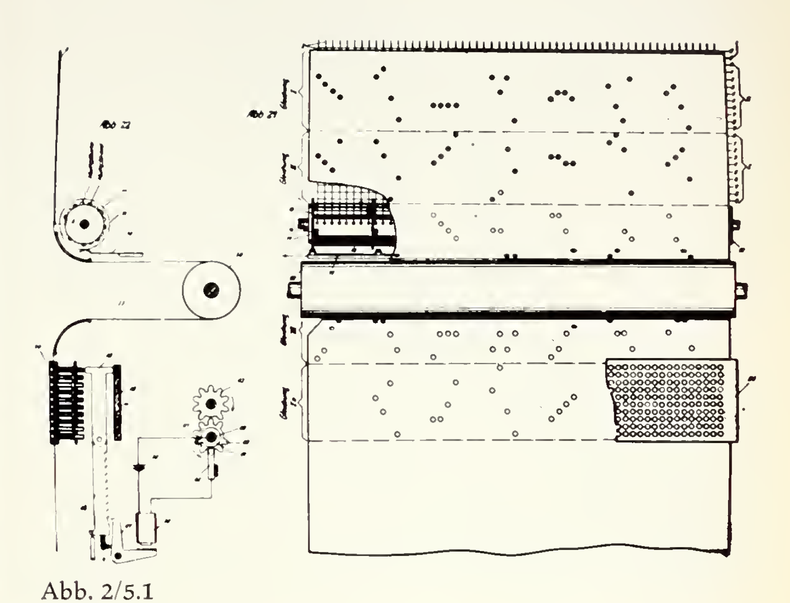


Abb. 2/5.1

Hamann:
Elektromechanisches Rechengerät zum Auflösen von Gleichungssystemen; Lochen, Speichern und Abtasten von Zwischenergebnissen in Papierband; aus Hamann, Ch.: Über elektrische Rechenmaschinen, Privatdruck, ca. 1932, Berlin-Neu-Babelsberg.

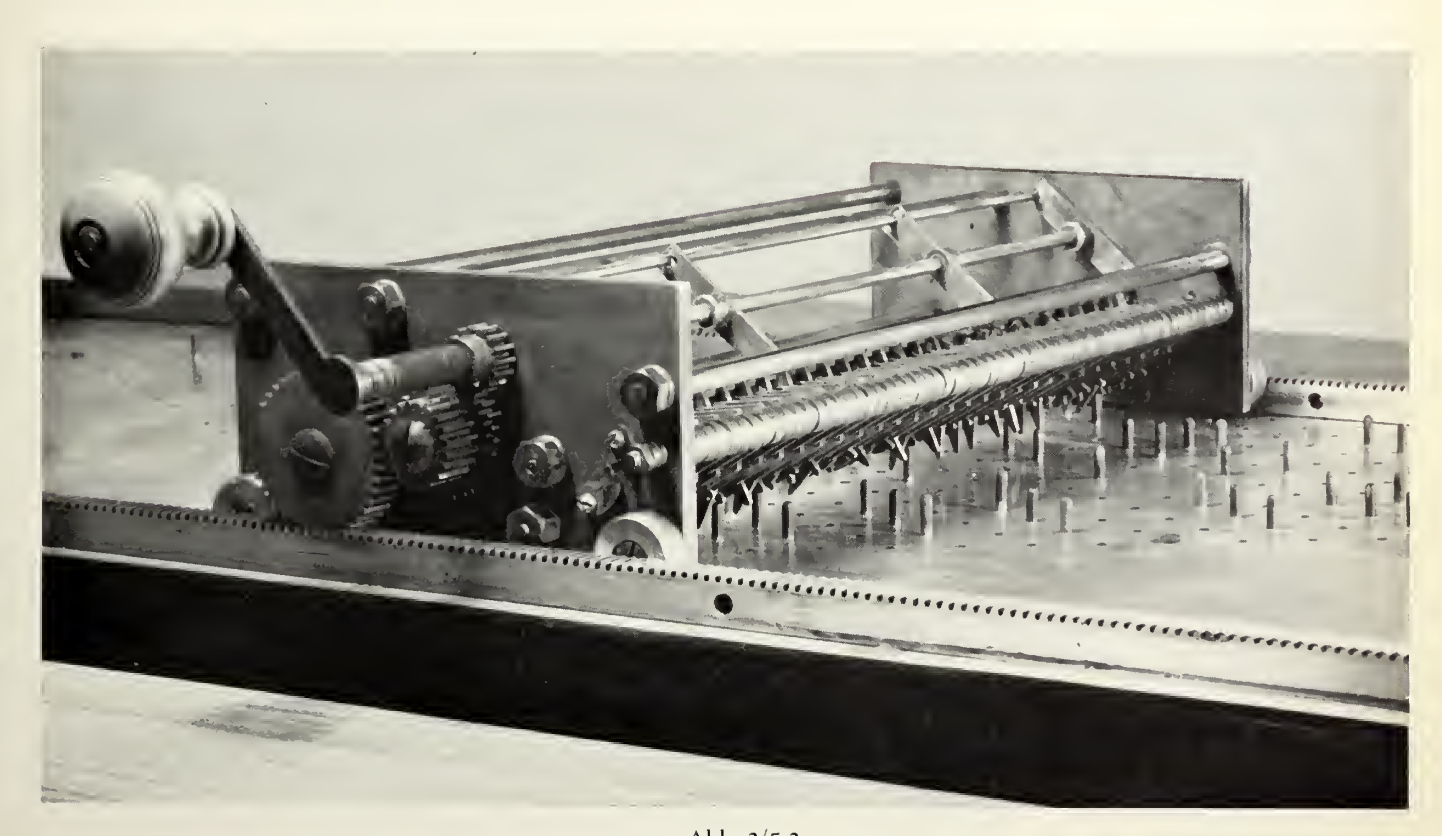


Abb. 3/5.3

Phillips: „Demonstrator of binary arithmetic“, Modell der Übertragungseinrichtung, 1936.



Abb. 4/5.4

Konrad Zuse

Schöpfer des ersten programmgesteuerten, arbeitsfähigen Rechenautomaten.

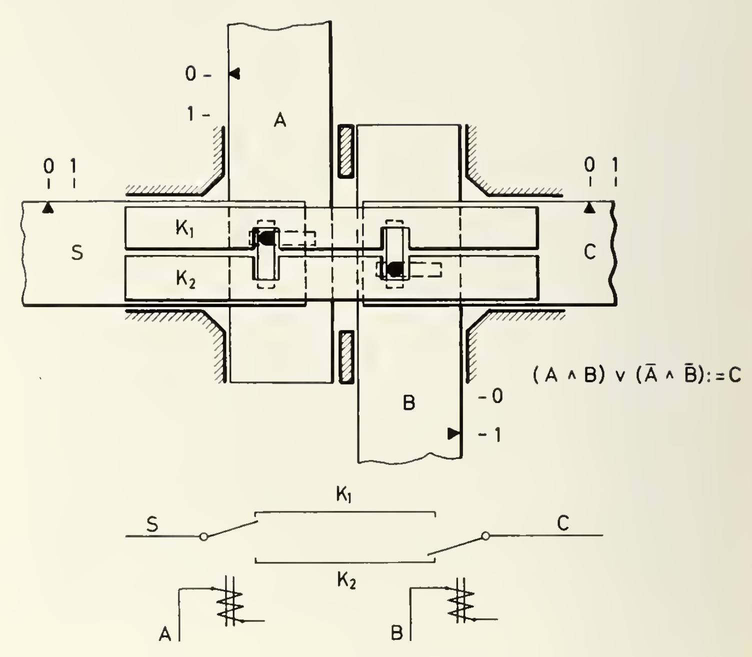


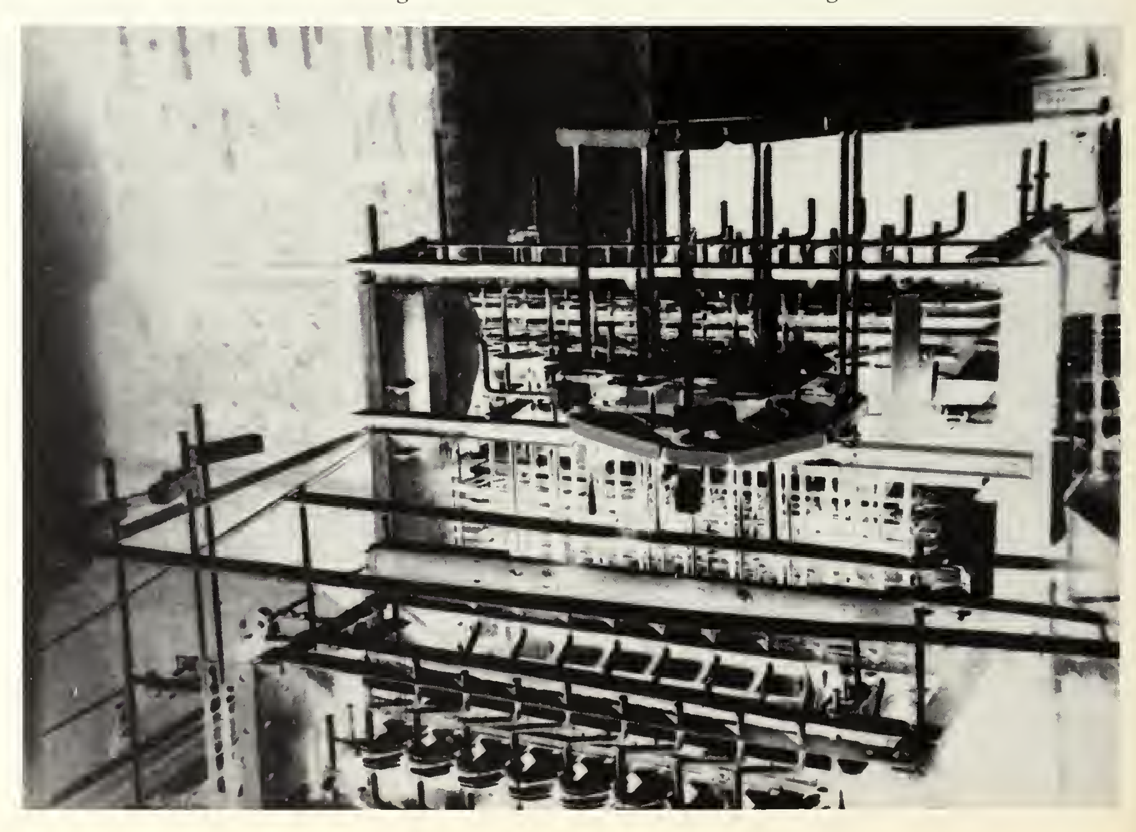
Abb. 5/5.4.1

Beispiel eines mechanischen Schaltgliedes für die Konjunktion, Schemaskizze.

Die Koppelglieder K_1 und K_2 können eine Verschiebung des Schaltgliedes S von 0 auf 1 nur dann auf das Ausgangsglied C übertragen, wenn beide Stifte durch die Eingangsglieder A und B auf gleiche Höhe – beide auf 0 oder beide auf 1 – gebracht wurden.

Abb. 6/5.4.1 u. Abb. 7/5.4.1

Zuse baut seinen ersten Rechenautomat aus mechanischen Schaltgliedern 1936 in der elterlichen Wohnung.



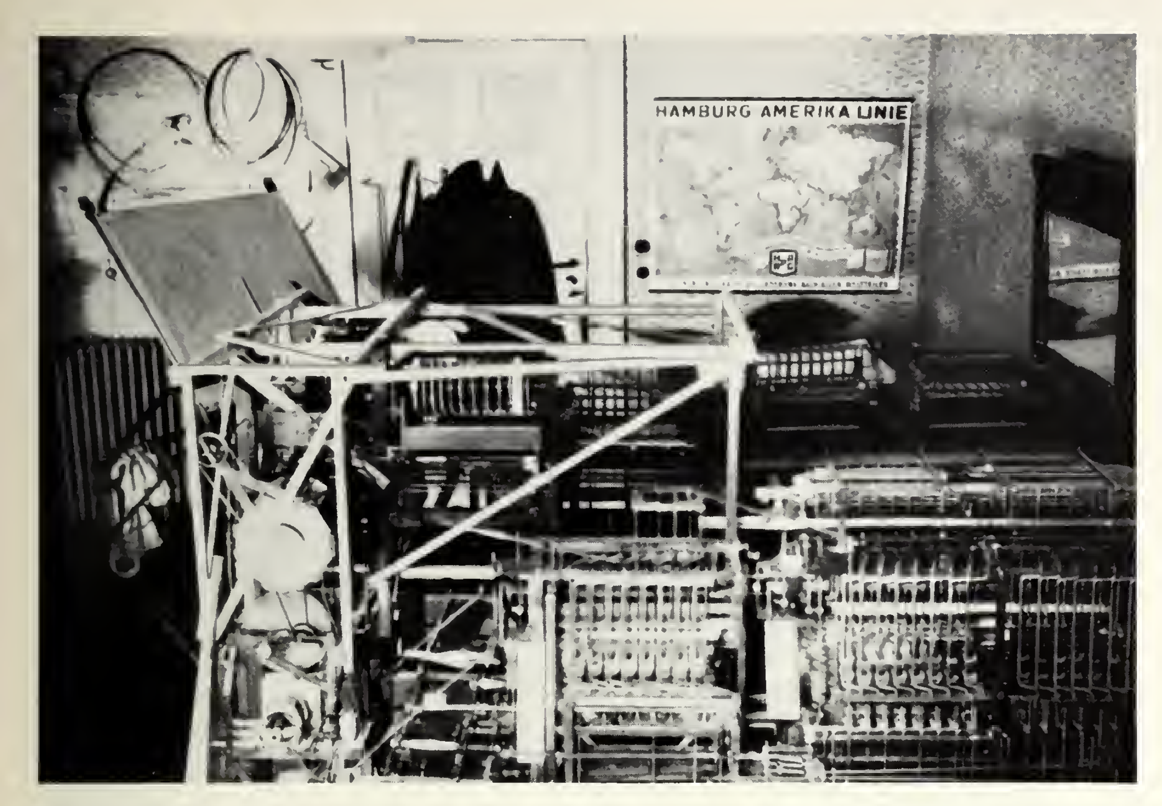


Abb. 7/5.4.1

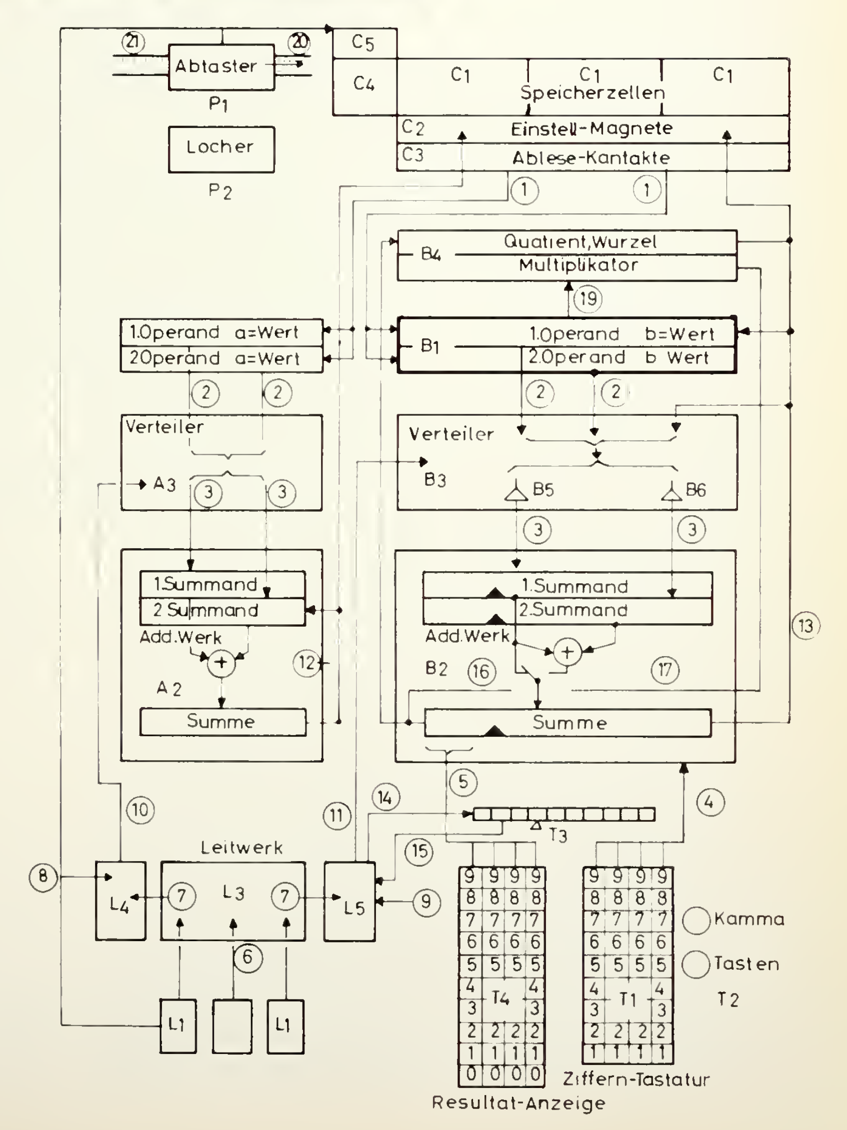


Abb. 8/5.4.1
Blockschema der Zuse-Rechengeräte Z 1 und Z 3

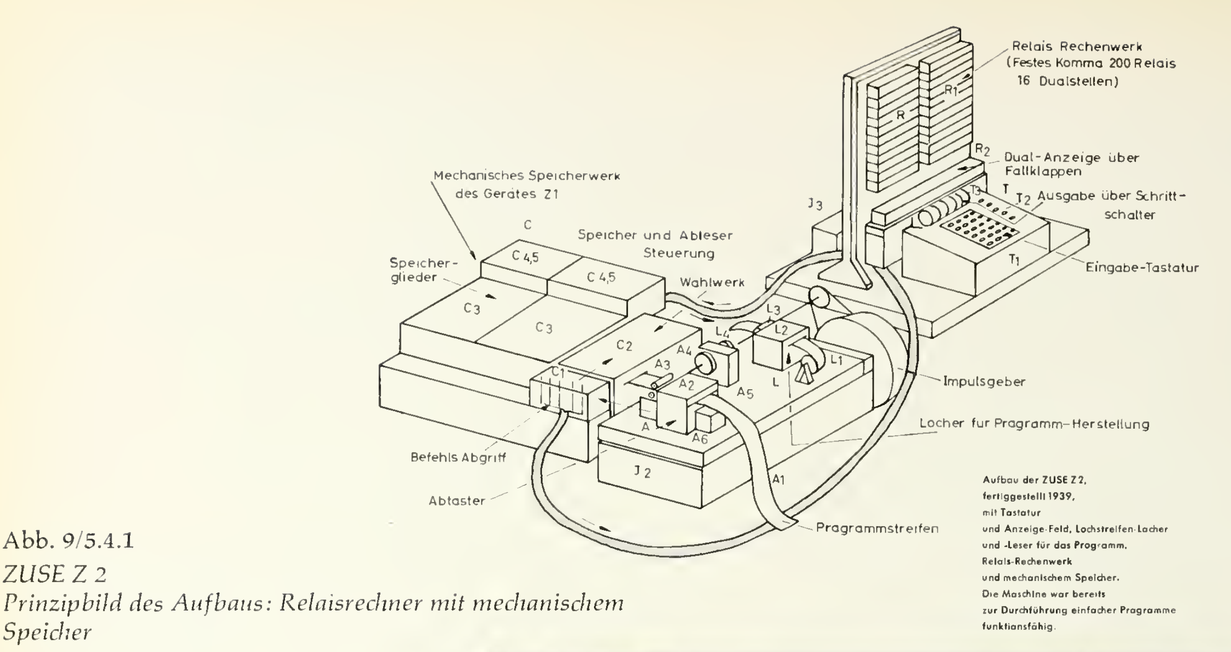


Abb. 9/5.4.1
ZUSE Z 2
Prinzipbild des Aufbaus: Relaisrechner mit mechanischem Speicher

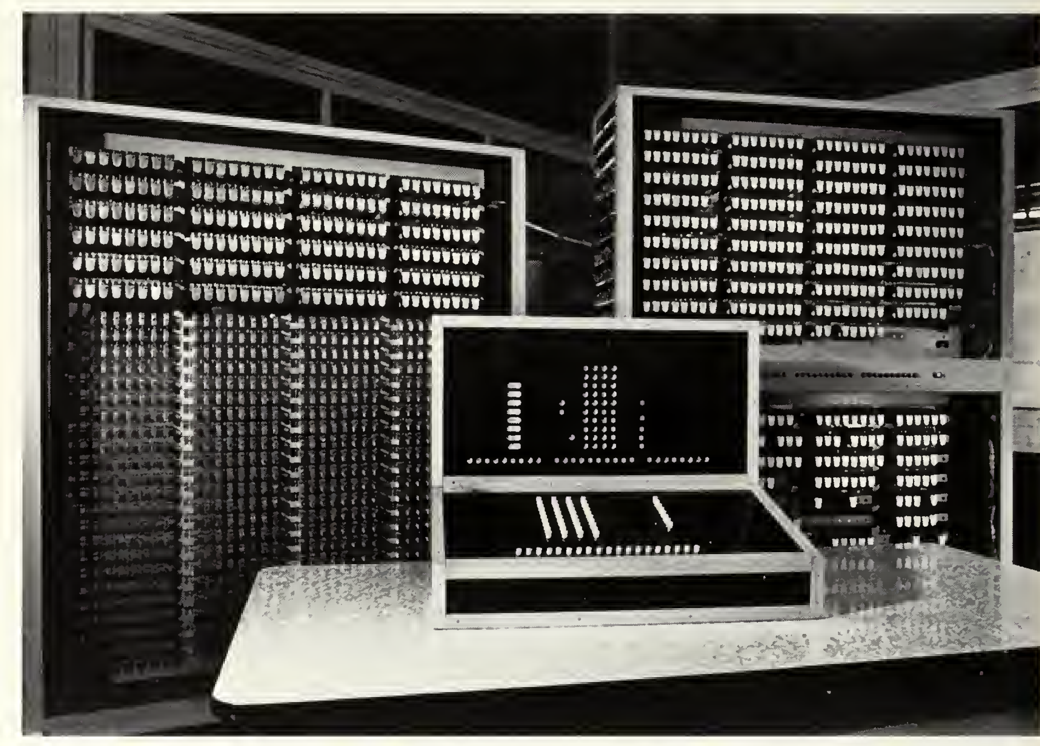


Abb. 10/5.4.2
Z 3 Relaisrechner von K. Zuse
Erster betriebsfähiger programmgesteuerter Rechenautomat. Fertiggestellt 1941. Programm in Lochfilm (8 Spuren). Relais-Rechenwerk für +, −, ×, :, $\sqrt{\ }$, ·2, ·½, ·10, ·0,1 und ·10. Vorzeichenumkehr. Speicherwerk für 64 Zahlen zu 22 Dualstellen. Eingabe der Zahlen durch Tastatur, Ergebnis-Anzeige mit Lampentablo. Leistung: 15–20 arithmetische Operationen/s; Multiplikationen in 4–5 s. (Nachbau 1962 im wesentlichen dem Original und der DRP-Anmeldung Z 391 IX/42 m entsprechend.)

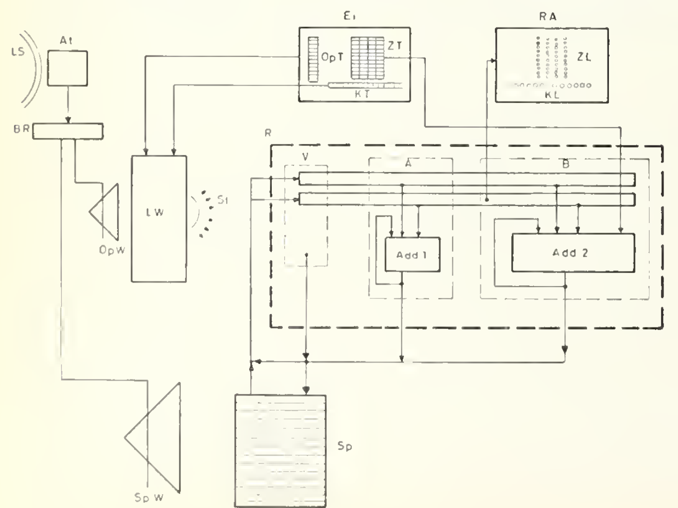
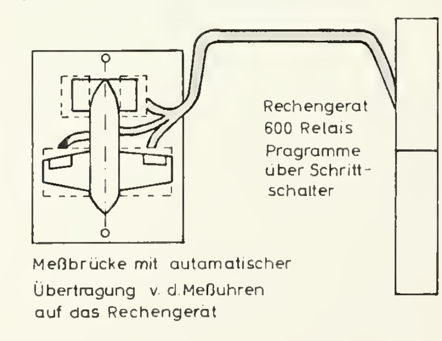


Abb. 11/5.4.2
ZUSE Z 3 Relaisrechner   Blockschema des Zahlenkreislaufes

Abb. 12/5.4.3
ZUSE S 2 Relaisrechner
Spezialgerät zur Errechnung von Korrekturwerten, mit automatischer Abtastung der Profilform von Tragflächen und Umwandlung der Meßwerte in Dualzahlen.



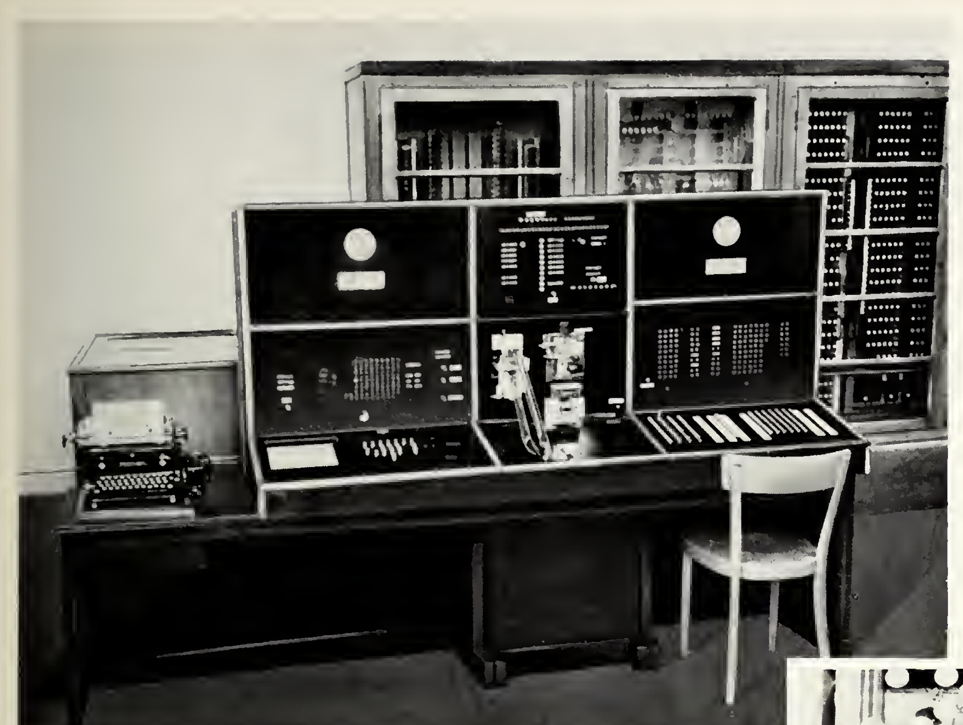
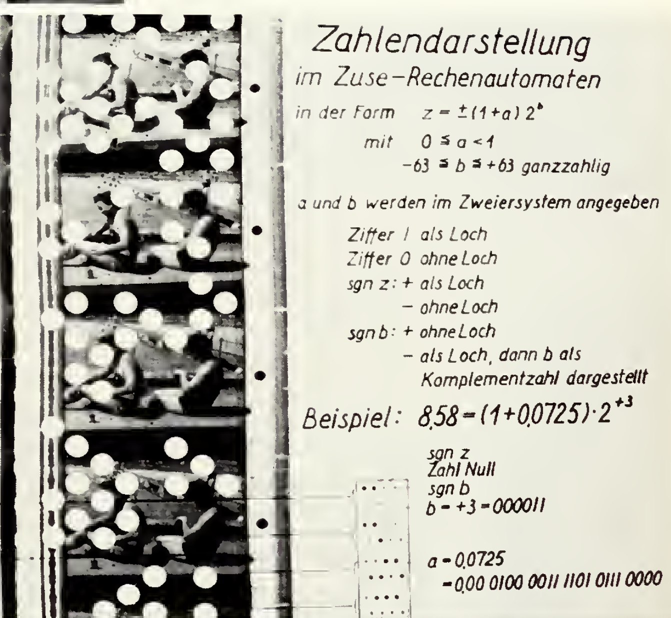


Abb. 13/5.4.6
ZUSE Z 4 Relais-Rechenanlage
mit Lochstreifen-Programmierung, -Leser und -Stanzer. Links hinter der elektrisch angesteuerten Ausgabe-Schreibmaschine ist das Gehäuse des mechanischen Speicherwerkes zu sehen.



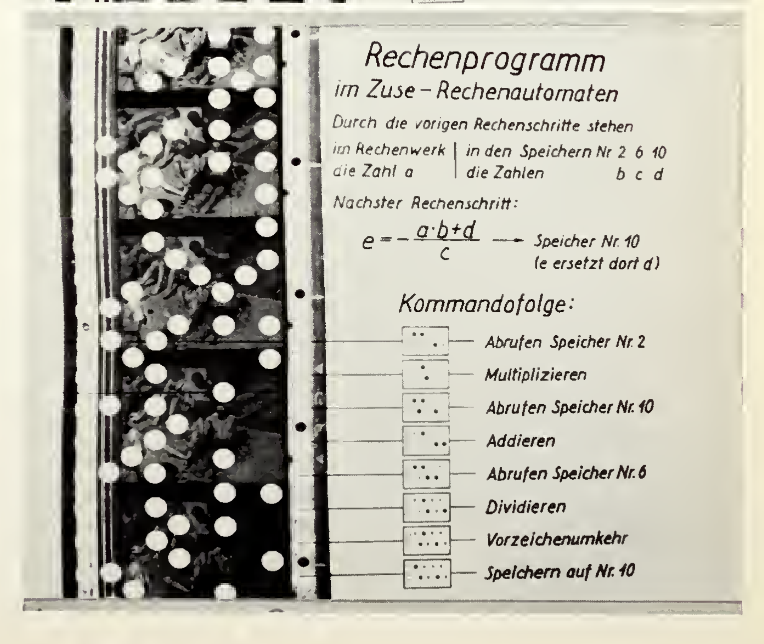


Abb. 14/5.4.6
ZUSE Z 4 Lochfilm-Code
Um große Löcher und sicheres Abtasten zu erreichen, wurden je 4 Codelochungen in einer Spalte zu den benachbarten versetzt angeordnet, und die 8 Lochspalten einer Zahl in halblogarithmischer Notation ineinander geschachtelt.

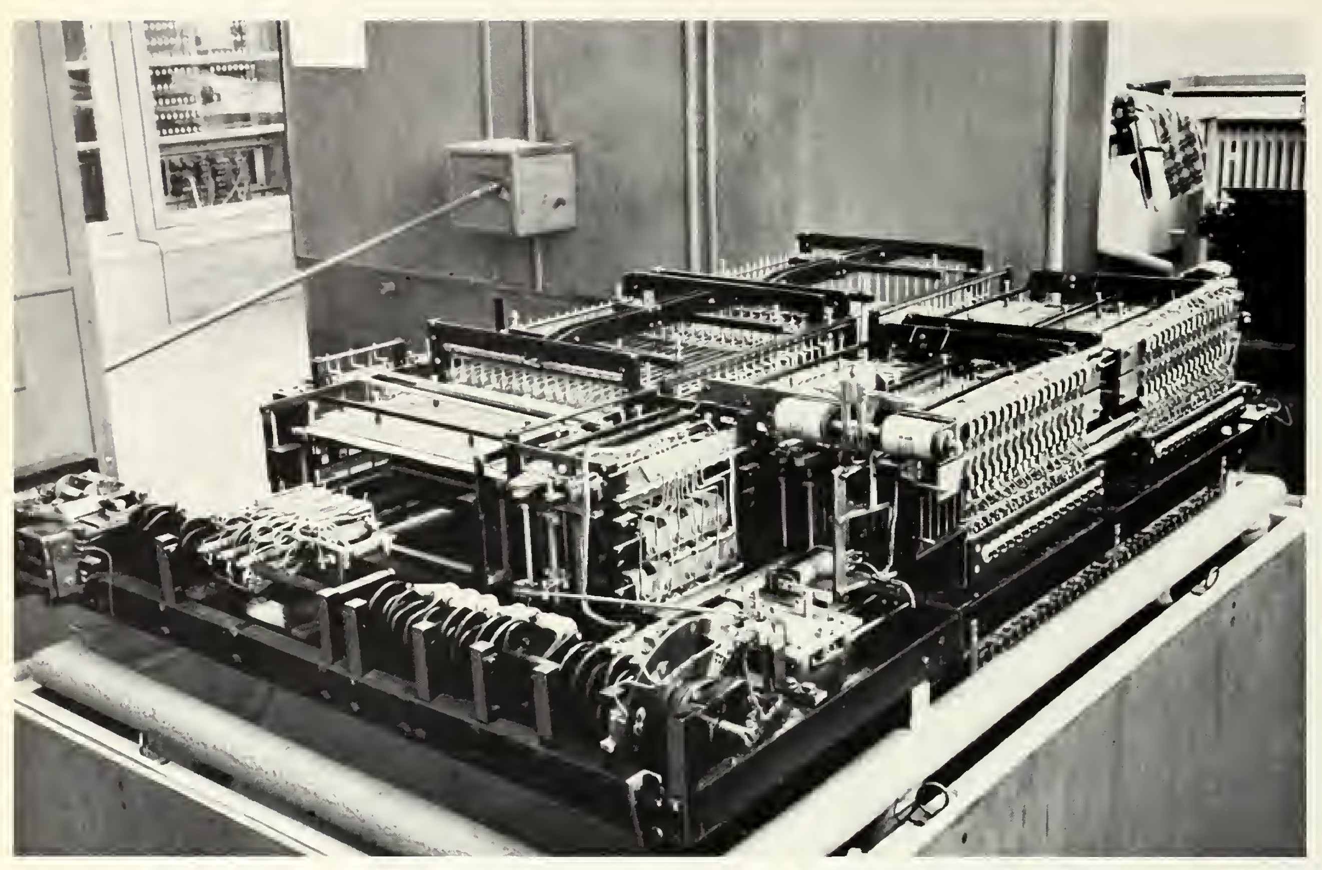


Abb. 15/5.4.6
Mechanisches Speicherwerk der ZUSE Z 4, teilausgebaut für 64 Wörter, konstruktiv leicht nach oben erweiterbar für 500 Wörter Speicherkapazität.



Abb. 16/5.4.6
Relaisschrank der ZUSE Z 4 mit erprobten großen Rundrelais ausgerüstet.

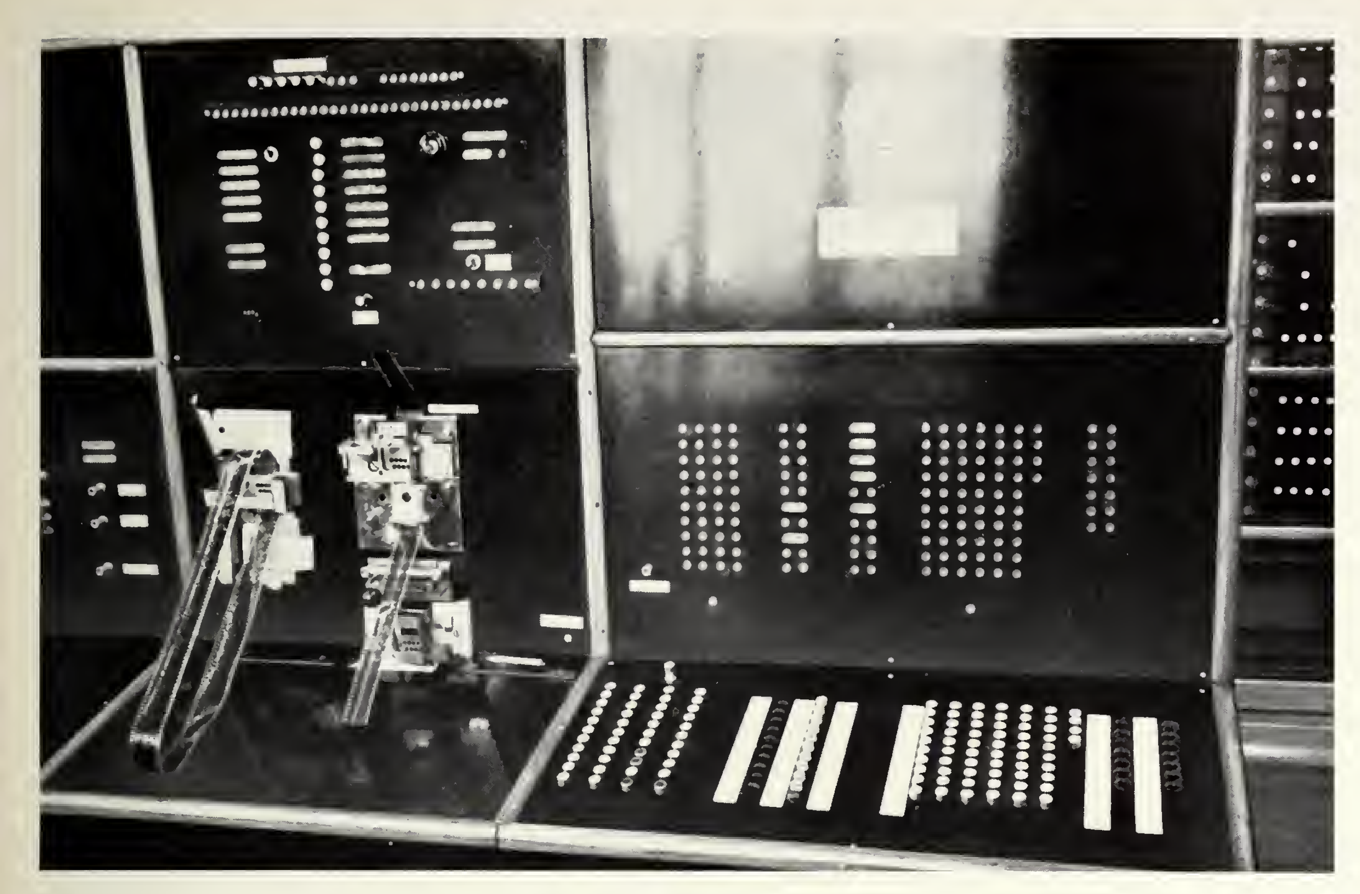


Abb. 17/5.4.6
Steuerpult der ZUSE Z 4
Eingabetastatur, Anzeigetablo, Lochstreifen-Locher und -Leser.

Der Stand der Sache ist z.Zt. folgender:
Es ist uns nach vielen Mühen gelungen, das Gerät einsatzklar zu machen. Doch wollen wir noch eine Reihe von Ergänzungen durchführen, die zur Erhöhung der Betriebssicherheit und Erweiterung des Aufgabenbereiches erforderlich sind. Einige Anfragen wissenschaftlicher Institute haben uns gezeigt, dass anscheinend auch heute Bedarf für ein solches Rechengerät vorliegt.

Leider sind wird durch die Stromsperren in letzter Zeit stark in Rückstand gekommen. Auch jetzt ist die Spannung tagsüber so schwach, dass das Gerät nur nachts zuverlässig arbeitet. Zur Abhilfe bemühen wir uns um eine Akkumulatorenbatterie.

Es besteht also gute Aussicht, bis zum nächsten Frühjahr das Rechenbüro in Gang zu bringen, so dass es sich aus eigenen Einnahmen rentiert. Bis dahin haben wir jedoch mit einer Reihe von Unkosten und Anlaufkosten zu rechnen. Wir hätten z.B. Gelegenheit, im hiesigen Schloss einige Räume zu mieten, einmal um dort ein Büro einzurichten, zum anderen, um dort laufend Wissenschaftler als Gäste aufzunehmen. Es schwebt uns vor, in diesem Schloss eine kombinierte Arbeitsstätte und Erholungsstätte für Wissenschaftler einzurichten. Das notwendige Entgegenkommen seitens der Behörden scheint vorhanden. Es ist für ein solches Projekt freilich ein gewisses Anfangskapital erforderlich, was sich jedoch bald wieder herauswirtschaften liesse.

Abb. 18/5.4.6
Originalbrief von K. Zuse, in dem er dem Verfasser die Schwierigkeiten des Aufbaus der geretteten Z 4 und die Pläne für ein Rechenbüro als Forschungs- und Erholungsstätte für Wissenschaftler schildert.

Abb. 19/5.4.6
ZUSE Z 9
Multiplikationswerk zum Rechenlocher M 9 (Powers)

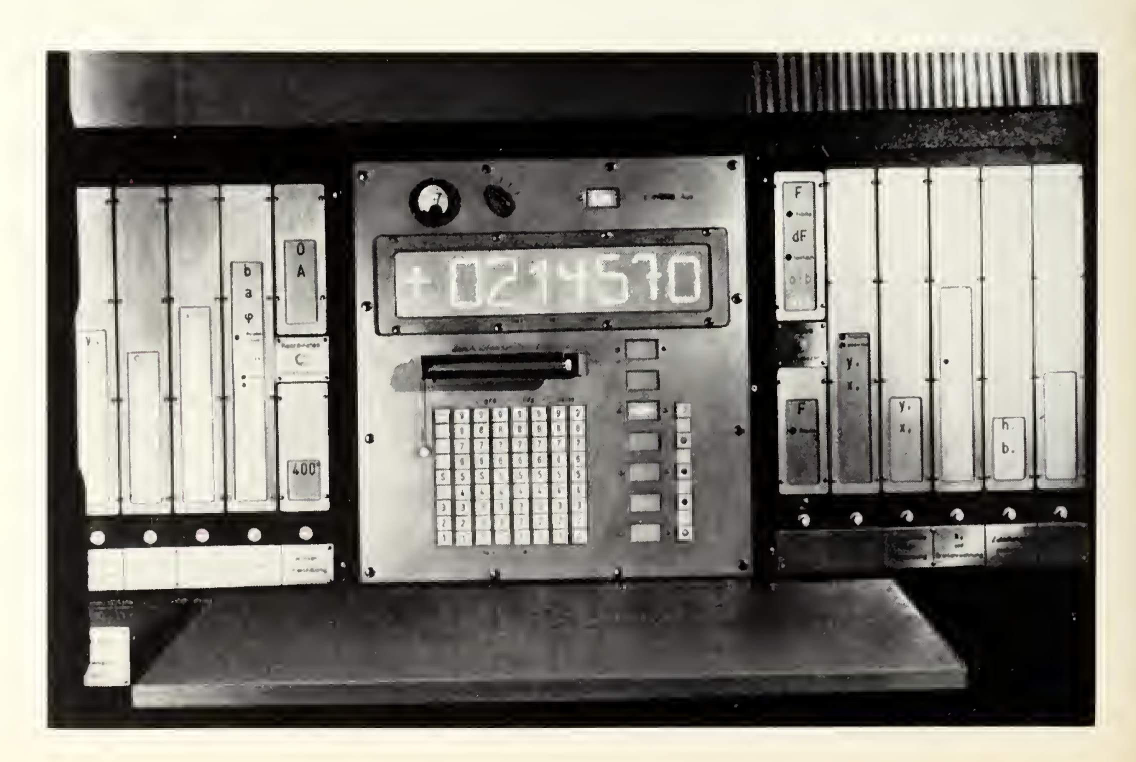


Abb. 20/5.4.6
Spezialrechner SM 1
von Seifers (München) für
vermessungstechnische Berechnungen

Abb. 21/5.4.6
ZUSE Z 11
Spezial-Relaisrechner für optische und geodätische Berechnungen, festprogrammiert mit Auswahl der Rechenaufgabe durch Drucktasten am Steuerpult. Ausgabe des Ergebnisses über Schreibmaschine. Rechts: Stromversorgung.



Abb. 22/5.4.6
ZUSE Z 11
Relaisrechner mit Lochstreifen-Ein/Ausgabe, festprogrammiert für Aufgaben der Vermessungstechnik.

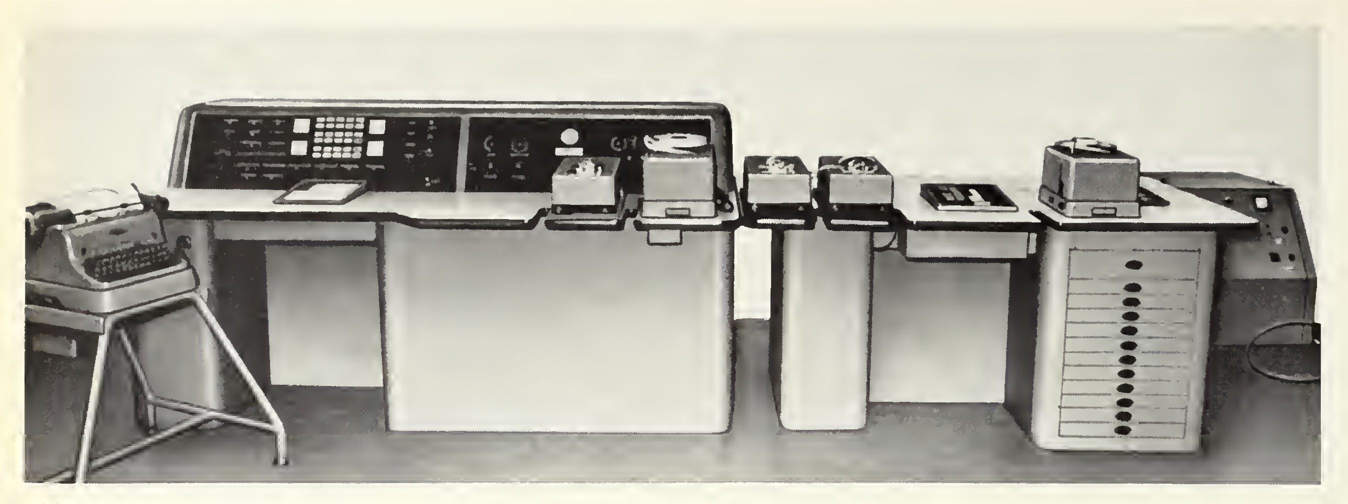


Abb. 23/5.4.6
ZUSE Z 11
Spezial-Relaisrechner für optische und geodätische Berechnungen, mit Lochstreifen-Programmierung auszubauen als Universalrechner.

Abb. 24/5.4.6
ZUSE Z 12
Divisionsschaltung in Relaistechnik als Zusatz zu einer Waage, um aus Gewicht und von Hand eingetastetem Divisor einen die Maßhaltigkeit kennzeichnenden Quotienten zu erhalten.

5.5 *Relaisrechner in den USA*

5.5.1 *Relaisrechner der Bell Telephone Laboratories*

Im Zuge der Entwicklung der Selbstwählverfahren für die Fersprechtechnik waren so viele geeignete Einrichtungen entstanden, daß um 1937 der Mathematiker George R. *Stibitz* den Gedanken faßte, daraus eine Rechenschaltung zu entwickeln, um sich Routinearbeiten zu erleichtern. Er entwarf den für den Aufbau einfacher Rechenschaltungen zweckmäßigen „Drei-Excess"-(Stibitz-)Code und baute als erstes einen *Complex-Number-Computer* speziell zum Multiplizieren und Dividieren von komplexen Zahlen. Dieser umfaßte 6-8 Gestelle und war von 3 Fernschreibern aus in Wechselschaltung zu bedienen. Er wurde im Herbst 1940 fertig und mit einer großartigen Demonstration vorgeführt: Die Fragen wurden im Dartmouth College in Hanover, N. H., eingegeben, in New York berechnet und das Ergebnis über Fernschreiber zurückgemeldet.

Daraufhin bauten Bell Labs insgesamt 6 Relais-Rechner (Abb. 25 — 30/5.5.1), von dem zu einem Modell I umkonstruierten Prototyp bis zu einem Modell VI *(Network Problem Computer)*, das 1949 im Murray Hill Laboratory als Ersatz für das erste aufgestellt war; nur diese beiden waren für eigenen Gebrauch gebaut. Die Modelle II bis V wurden zwischen 1943 und 1947 für die Landesverteidigung entwickelt. Sie waren im Grundaufbau ähnlich wie der erste Rechner, erhielten jedoch Lochstreifen-Ein/Ausgabe und selbstprüfenden Code mit Kontrolleinrichtungen. Die ersten beiden waren Spezialrechner zum Interpolieren bzw. zum Justieren von Feuerleitgeräten oder zum Simulieren des Richtens. 1944 erhielt die Firma Aufträge für größere Universalrechner für Ballistic Research Laboratories, Aberdeen, und für National Advisory Commitee for Aeronautics. Sie wurden1947 — 1950 fertiggestellt. Hierin wurden der Sicherheit halber je zwei Rechenwerke eingebaut, die einzeln oder parallel rechnen konnten. Dieses Modell V füllte mehrere große Räume aus — obschon die Speicherkapazität gering war. 4 Gestelle enthielten je 12 Lochstreifenleser zur Eingabe von (Unter-)Programmen und Daten, ferner waren 2 Streifenlocher, eine Streifenprüfeinrichtung, und 2 Blattschreiber mit Streifenlocher für die Ausgabe vorgesehen. Das Modell V erreichte folgende Operationszeiten: Addition 0,3 s, Multiplikation 1 s, Division 2,2 s, Quadratwurzel 4,5 s. Es arbeitete in halblogarithmischer Zahlendarstellung, d. h. mit Gleitkomma, im Bereich $10^{19} - 10^{-19}$; die Dezimalziffern waren biquinär oder z. T. wahlweise in 2- bzw. 3-aus-5-Code verschlüsselt. Die Rechner wurden durch den selbstprüfenden Code und viele Sicherungen sehr zuverlässig auch bei unbeaufsichtigter Arbeit. Sie kosteten je etwa 500 000 $. Ihr Stromverbrauch lag bei nur ca. 20 kW.

Tabelle

Übersicht über die Relaisrechner der Bell Telephone Labs.

Modell	I	II	III	IV	V	VI
Charakteristika:						
Zahlendarstellung	Festkomma				Gleitkomma	
Ziffern je Zahl	8	2–5	1–6	1–6	7	bis 10
eingebaute Programme	2	–	–	–	4	200
Multiplikationszeit (s)			1	1	0,8	0,8
Speicherkapazität (Zahlen)	4	7	10–14	10	15 (44)	12
Anzahl der Relais	450	440	1400	1425	9000	4600
Anzahl der Blattschreiber	4	5	17	7	55	16
Anwendung:						
„Complex Number Computer"	1					
„Relay Interpolator"		1				
für ballistische Berechnungen		1	1			
Universalrechner				1	1	
Eigenbedarf Bell Labs	1					1
für militärische Dienststellen		1	1	1	2	

Literatur:

Bell Labs Rec. 24 (1946), S. 457 von O. Cesares

Bell Labs Rec. 25 (1947), S. 25 von J. Juley

Bell Labs Rec. 25 (1947), S. 49 von S. B. Williams

Bell Labs Rec. 35 (1947) 3, S. 81–84 von E. G. Andrews.

5.5.2 *Relaisrechner „Selective Sequence Controlled Computer" SSCC oder Mark II*

Prof. Howard H. *Aiken* baute als zweiten Rechner an der Harvard University im Auftrag des Naval Proving Ground in Dahlgren, Virginia, den Relaisrechner Mark II. Mit der Planung wurde im November 1944 begonnen, der eigentliche Baubeginn war im Frühjahr 1945.

Sowohl für die interne Speicherung als auch für die arithmetischen Operationen und deren Steuerung wurden Relais verwendet; insgesamt wurden 13 000 Relais eingebaut (Abb. 31 und 32/5.5.2). Mark II arbeitete mit Binärtetraden.

Es waren 100 Speicherregister vorgesehen; jedes bestand aus 46 Relais, und zwar aus 4 Relais für jede der 10 Dezimalstellen, dazu 1 Relais für das Vorzeichen und 5 weitere für den Exponenten. Die Maschine arbeitete mit zehnstelligen Dezimalzahlen und mit gleitendem Komma. Die Zahlen wurden parallel verarbeitet, indem die Impulse gleichzeitig über 46 Leitungen übertragen wurden.

Das Programm und die Daten wurden mit Lochstreifen eingegeben, die Ausgabe bestand aus Schreibmaschinen und Streifenlochern. Dieser Universal-Relaisrechner hatte eine Rechenleistung von 8 Additionen bzw. 4 Multiplikationen je Sekunde.

5.5.3 *Relaisrechner „Pluggable Sequence Relay Calculator" PSRC*

Etwa gleichzeitig mit der Entwicklung der Bell-Relaisrechner und des ASCC Mark I wurde von W. J. *Eckert* u. a. aus Bauelementen der IBM in der Entwicklungsabteilung dieser Firma in 5 Exemplaren ein reiner Relaisrechner PSRC aufgebaut. Zwei davon wurden beim Aberdeen Proving Ground in Betrieb genommen (1944), zwei bei der Columbia University (1945), der letzte beim Naval Proving Ground, Dahlgren (1945).

Diese Rechenanlage ist in Anlehnung an den Rechenlocher IBM 602 *Calculating Punch* entwickelt und mit einer auswechselbaren Stecktafel zum Einstöpseln des Arbeitsprogramms versehen; gegenüber diesem Rechenlocher arbeitet sie jedoch etwa zehnmal schneller, hat größere Speicherkapazität, leistungsfähige Ein- und Ausgabe und zusätzliche Funktionen. Das Rechenwerk arbeitet mit Dezimalzahlen von 6—12 Stellen parallel, bei einem Arbeitstakt von 20 ms. Hiermit dauert eine Addition 0,025 s, eine Multiplikation 0,15 s, eine Division 0,2 s. Alle Operationen werden von einer Hauptsteuerwelle, die mit 100 U/min umläuft und je Umlauf 48 Impulse sendet, synchron gesteuert. Die 36 Rechenregister dienen auch als Zwischenspeicher. Die Eingabe erfolgt durch 4 Lochkartenabtaster, Ausgabe ebenfalls auf Lochkarten, beides mit 100 Karten/min.

Dieses ist die einzige Anlage, die es ermöglichte, Faktoren aus zwei synchron durchlaufenden Kartensätzen abzutasten und zu multiplizieren, wie es beispielsweise für die Matrizenmultiplikation und zum Auflösen von Gleichungssystemen nützlich ist.

Literatur:

Eckert, W. J.: Electrons and Computation. Scientific Monthly 67 (1948), Heft 5.
Engineering Research Associates: High-Speed Computing Devices. McGraw-Hill Book Comp. 1950, S. 191.

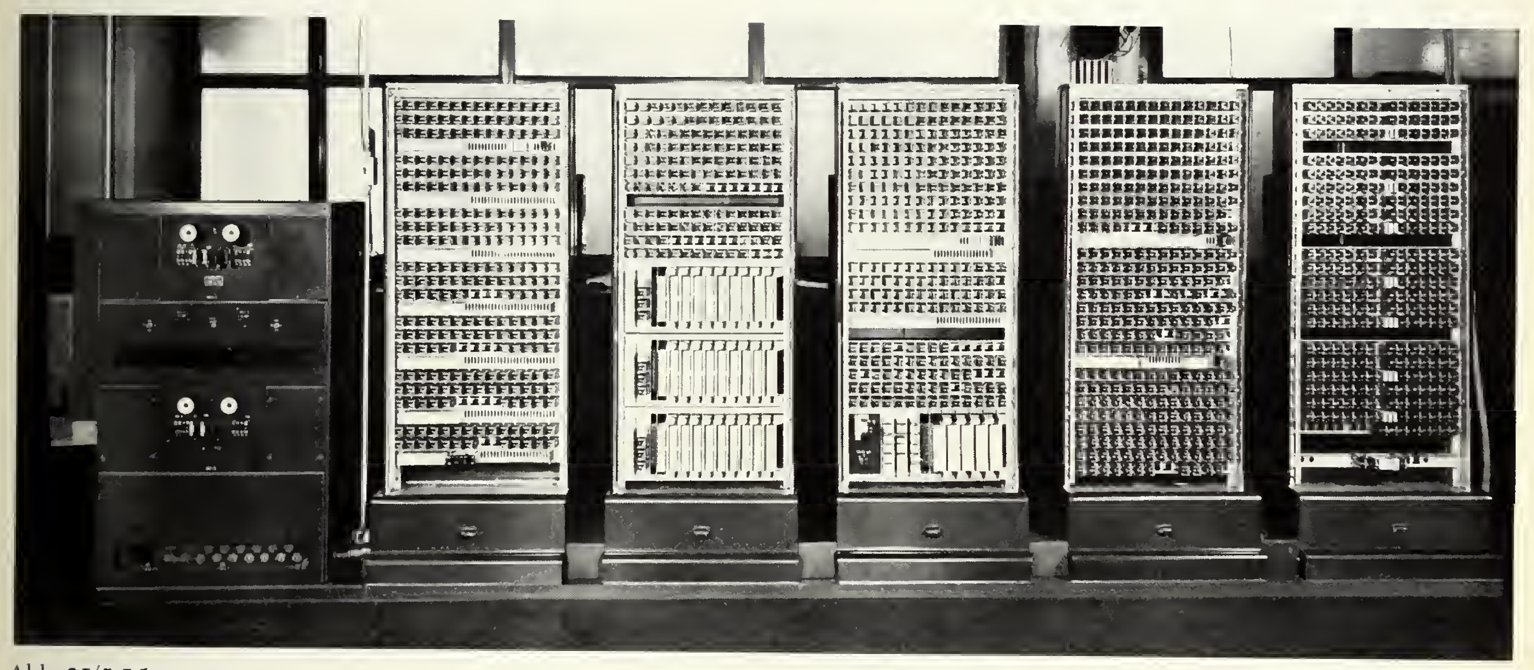


Abb. 25/5.5.1
Relais-Rechner Modell II der BELL Labs.

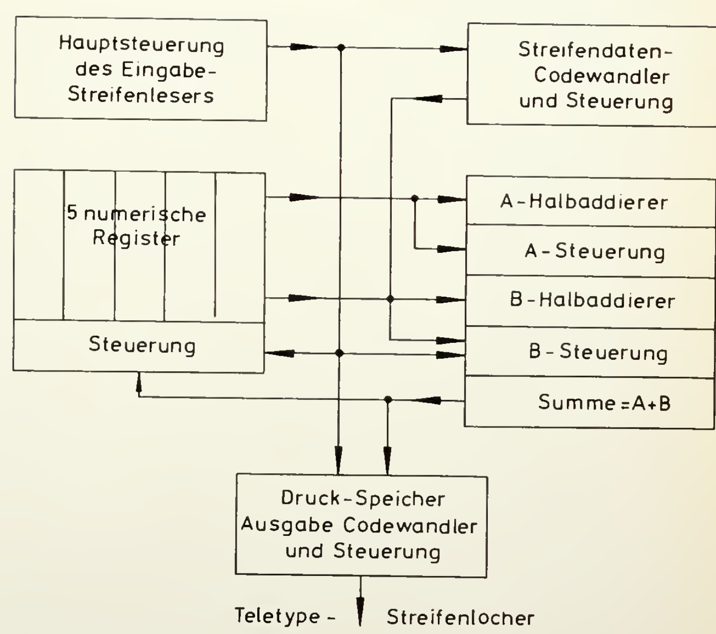


Abb. 26/5.5.1
Blockschaltbild des Relaisrechners Bell II.



Abb. 27/5.5.1
Relais-Rechner Modell V der BELL Labs.
Bedienungsraum mit Lochstreifen-Geräten

Abb. 28/5.5.1
Relais-Rechner Modell V der BELL Labs.
Einblick in den Rechner, der in traditioneller Gestellbauweise der Fernsprech-Vermittlungstechnik gebaut ist.



Abb. 29/5.5.1
Relais-Rechner Modell VI der BELL Labs.
Spezialrechner zur Bearbeitung von Netzwerk-Problemen.



Abb. 30/5.5.1

Relais-Rechner Modell VI der BELL Labs.
Ansicht der Bedienungsgeräte mit Lochstreifen-Leser als Datenspeicher und mit Fernschreib-Blattschreibern



Abb. 31/5.5.1

SSCC-Mark II

„Selective Sequence Controlled Computer"
Aiken baute an der Harvard-Universität nach dem elektromechanischen ASCC Mark I noch einige weitere Rechenanlagen, jedoch in Relaistechnik: Mark II (1947) und zum Teil noch Mark III (1950), (siehe Abb. 10–12/6.1) und nur mit Elektronenröhren: Mark IV (siehe Abb. 23/6.1). Sie wurden im wesentlichen für die Marine gebaut.
Bei Mark II verwendet er statt des breiten Lochbandes einen Lochstreifen, der für Unterprogramme und als Speicher für 36 Funktionstafeln in Schleifenform zusammengeklebt und über Führungsrollen ausgespannt werden kann. Nach Fertigstellung 1946 wird der Rechner vor allem für astronomische Berechnungen in Dahlgren eingesetzt.
Lit.: H. H. Aiken: Description of a Relay Calculator Mk II, Annals XXIV, Harvard 1949.

Abb. 32/5.5.2
SSCC – Mark II von H. H. Aiken (1947 fertiggestellt)
Einblick in die Relaisgestelle für 13 000 Relais in Sonderausführung.



5.6 *Weitere Relaisrechner*

5.6.1 *In England*

John R. *Womersly* befaßte sich seit 1937 — angeregt auch durch A. M. *Turings* Arbeiten (1936) — mit der Planung eines dezimalen Rechners. Seine Gedanken richteten sich unter dem Einfluß von *Phillips* (siehe 5.3) auf das binäre Rechnen und auf die Verwendung von Elektronenröhren. Daher wird diese Entwicklung, die zum ACE-Computer führt, unter 6.2 behandelt.

1947 untersuchte Andrew D. *Booth* vom College Research Laboratory der Universität London die Möglichkeit, wesentlich einfachere Rechenanlagen zu entwerfen als die ihm bekannten Großanlagen in den USA. Er entwickelte mit K. H. V. *Britten* den Automatic Relay Computer ARC. Dieser arbeitete mit rein dualen Zahlen von 21 Binärstellen (entsprechend 5 Dezimalstellen) voll parallel und brauchte für Rechenwerk (mit Simultan-Zehnerübertragung) und Register zusammen rd. 800 schnelle Relais mit nur einem Kontakt. Baukosten waren 2500 Pfund. Als Speicher war ursprünglich eine Magnettrommel für 250 Zahlen vorgesehen, doch wurde diese vorerst ersetzt durch einen elektromechanischen Speicher für 50 Zahlen von 21 Bits. Er bestand aus einer umlaufenden Trommel von 2 Zoll Durchmesser und 8 Zoll Länge, aus deren Umfang Stifte entweder herausragen oder nicht (durch Magnete verschoben) und so die Bits darstellen, ähnlich wie es Phillips in seinem Modell von 1936 vorgeschlagen hatte (siehe Abb. 3/5.3). Die Zugriffszeit war 0,1 s. Auch ein Scheibenspeicher mit flexiblem, oxyd-beschichtetem Papierblatt wurde untersucht. Zur Programmierung diente eine Stecktafel für 300 Befehle. Die Ein/Ausgabe erfolgte über Fernschreib-Lochstreifen und Blattschreiber, bei automatischer Umrechnung zwischen dualem und dezimalem Zahlensystem.

Arbeitsgeschwindigkeit des ARC war für Addition 20 ms, für Multiplikation und Division 1 s.

Der Bau des Rechners wurde von der British Rubber Producers Research Association finanziert; er wurde ab 1. 11. 1948 insbesondere für die rechnerischen Arbeiten bei der Röntgenstrahl-Strukturanalyse verwendet.

Literatur:
Booth, A. D.: Relay Computers. Report of a Confernce on High Speed Automatic Computing. University of Cambridge, June 1949.
Wilkes, M. V.: Progress in High Speed Calculating Machine Design. Nature, Vol. 164, Aug. 1949.

5.6.2 *In Holland*

Nach dem Vorbild des ARC (siehe 5.6.1) wurde ab 1948 beim Mathematisch Centrum Amsterdam von *Wijngaarden, Blaaw, Loopstra* und *Scholten* der Relaisrechner *Automatische Relais Rekenmaschine Amsterdam* ARRA entworfen und 1951 in Betrieb genommen (Abb. 33/5.6.2). ARRA besaß neben den Relais auch elektronische Bauelemente; beispielsweise erhielt der Magnettrommelspeicher für 1024 Wörter in 64 Spuren zu je 16 Wörtern eine Spurenwahlschaltung mit Relais, jedoch eine elektronische Steuerung der Speicherposition je Spur.

Rechenwerk und Steuerwerk hatten je einen unabhängigen Akkumulator für 32-stellige Dualwörter. Eine Addition dauerte 24 ms, eine Multiplikation 104 ms. Zur Ein/Ausgabe dienten Lochstreifen und Fernschreibmaschinen.

Der Relaisrechner ARRA wurde später durch einen elektronischen Rechner gleichen Namens ersetzt, dessen Magnettrommelspeicher die gleichen Daten aufweist. Ein zweites Exemplar dieses mit Erfolg arbeitenden Rechners ging unter dem Namen FERTA an die Flugzeugwerke Fokker.

Die etwa gleichzeitig begonnenen Arbeiten der Dr. Neher-Laboratorien der PTT in den Haag unter *van der Poel* und *Kosten* führten zur Entwicklung des Rechenautomaten PTERA; auch dieser war ein Magnettrommelrechner. Er erreichte 50 ms mittlere Operationszeit. Van der Poel trieb seine Konzeption weiter zur Ausarbeitung der *Mikroprogrammierung* und zu einem damit ausgerüsteten äußerst zweckmäßig entworfenen Kleinrechner; die Pläne wurden in Lizenz zur Ausführung an die Standard Telephones and Cables in London vergeben, die danach den STANTEC-ZEBRA (erst in Röhrentechnik, dann in Halbleiter-Bauweise) herstellten. Die Mikroprogrammierung van der Poels befruchtete anschließend mehrere weitere Entwicklungen, so die der Zuse Z 22 (siehe Abb. 66/6.3) und die späteren der Firma ELECTROLOGICA (siehe Abb 23/7.1).

Literatur:

Wijngaarden, A. van: Moderne Rechenautomaten in den Niederlanden. Nachrichtentechn. Fachberichte 4 (1956) S. 60 ff.

5.6.3 *In Österreich*

Das Wiener Institut für Niederfrequenztechnik hatte die Arbeit an der Entwicklung der Rechentechnik mehr zu Ausbildungszwecken im Hochschulunterricht aufgenommen als um arbeitsfähige Anlagen aufzubauen. Erst nach einigen Baumustern von Ringzählern mit Dioden und Glimmröhren bzw. mit Röhren-Flipflops wurde von H. *Harmuth* ein Spezialrechner für statistische Aufgaben gebaut, der mit dekadischen Zählröhren arbeitete.

Danach entstand ein kleiner Relaisrechner URR 1, der mit nur 700 Relais bestückt war und dem Institut etwa 500.— DM an Materialkosten verursachte. Er arbeitete mit Dreiadreß-Befehlen, in 17 Dualstellen parallel und erreichte eine Leistung von 150 Operationen je Sekunde bei Addition, während eine Multiplikation 4 s dauerte. Er war mit 16 Speicherwerken ausgerüstet und mit Fernschreib-Lochstreifengeräten zur Ein/Ausgabe. Dieser unter Leitung von H. *Zemanek* aufgebaute Kleinrechner diente ebenfalls vorwiegend Unterrichtszwecken.

Das Institut baute ferner eine logistische Rechenschaltung LRR 1, die zur Analyse von logischen Funktionen von bis zu 7 Variablen diente; sie bestand aus 145 Relais und einem Drehwähler.

Literatur:

Harmuth, H.: Eine elektronische Rechenmaschine für statistische Berechnungen. Elektrotechn. u. Maschinenbau 69 (1952) H. 22, S. 501 und 532.

Zemanek, H., Die Universal-Relaisrechenmaschine URR 1. Elektrotechn. u. Maschinenbau 72 (1955), H. 1, S. 1, 5, 6–11.

5.6.4 *In der Tschechoslowakei*

A. *Svoboda* entwickelte ab 1956 einen Relais-Rechner SAPO mit 7500 Relais, ca. 280 Röhren und 150 Dioden und einem Magnettrommelspeicher für 1024 Wörter, der, noch vorsichtiger als die Bell-Rechner, die OPREMA, und die japanischen Relaisrechner sogar drei gleiche, voneinander unabhängige Rechenwerke zur gegenseitigen Prüfung enthielt. Er arbeitete parallel im Gleitkomma-Verfahren mit 32 Bits (24 + 5 Bits + 2 Vorzeichen + Prüfbit) und erreichte im Rechenwerk einen Arbeitstakt von 160 ms je Operation, einschließlich der Trommel-Zugriffszeit jedoch nur von 320 ms. Zur Programmierung dienten Fünfadreß-Befehle, die zwei Folgebefehlsnummern (für positives bzw. negatives Ergebnis) enthielten; zur Ein/Ausgabe waren ARITMA-Lochkartenmaschinen und eine Schreibmaschine angeschlossen (Abb. 34/5.6.4).

Literatur:

Svoboda, A.: in Nachrichtentechn. Fachberichte 4 (1956) S. 73.

5.6.5 *In Deutschland*

Von Mai bis Dezember 1954 baute die Firma Carl Zeiss in Jena (W. *Kämmerer*) den programmgesteuerten Relaisrechner OPREMA, (Abb. 35—38/5.6.5) der speziell für optische Berechnungen im eigenen Betrieb dienen sollte. Es handelte sich um einen Zwillingsrechner, bei dem zu Gunsten höchster Sicherheit zwei Rechenwerke parallel arbeiten und sich ver-

gleichen, bei Nichtübereinstimmung sich abschalten. Es hat sich jedoch später gezeigt, daß die Zuverlässigkeit hoch genug war, um auf diese Vorsichtsmaßnahme verzichten und beide Rechner getrennt betreiben zu können.

Die Anlage enthielt 17 000 Relais und etwa 90 000 Selengleichrichter, die Leistungsaufnahme lag bei 30 W. Die Gestelle wurden beiderseits eines inneren Wartungs-Ganges angeordnet, so daß die Relais von außen, die Verdrahtungen von innen zugänglich waren.

Der Rechner arbeitete voll parallel mit binär verschlüsselten Dezimalziffern im Gleitkommaverfahren, wobei die Mantisse achtstellig und der Exponent zweistellig (bis ± 15) war. 32 Dreiadreßbefehle waren vorgesehen, 25 davon vorerst ausgenutzt. Eine vierte Adresse erlaubte einen bedingten wie einen unbedingten Sprung in der Operationsfolge; vier zyklische Register steuerten diese Arbeitsweise. Die Programmierung erfolgte durch Stecktafeln, durch welche auch konstante Zahlenwerte einzugeben waren. Als Ausgabe diente eine elektrische Schreibmaschine, welche die Ergebnisse in dezimaler halblogarithmischer Schreibweise auslistete.

Als Rechenzeiten ergaben sich etwa 120 ms für eine Addition, 800 ms für Multiplikation und Division, 1200 ms für das Radizieren.

Literatur:
Kämmerer, W.: Die programmgesteuerte Rechenanlage im VEB Carl Zeiss Jena. Die Technik, Berlin, Messeheft 1955, S. 7–9

5.6.6 *In Japan*

Nach dem Krieg begann in Japan die Forschung und Entwicklung in bezug auf logische Netzwerke (Dr. M. *Goto* und Dr. Y. *Komamya* am Elektrotechn. Lab.) etwa 1951. Darauf begründete die Mathematische Forschungs-Gruppe die Entwicklung eines Prototyps des Relais-Rechners ETL Mark I, der 1952—53, und des Relais-Rechners ETL Mark II (Abb. 39—41/5.6.6), der im November 1955 vollendet wurde und einer der größten sein soll. Hergestellt wurde er von der Fa. Fuji Communication Apparatus Mfg. Co.

Der Rechner arbeitet parallel asynchron, d. h. die Folge der Operationen ist allein durch ein Vollzugssignal der vorhergehenden Operation, nicht durch einen starren Takt gesteuert. Daher sind derartige Rechner 5—6 mal schneller als taktgebundene. Jede Operation wird doppelt, d. h. in zwei Werken ausgeführt und das Ergebnis verglichen; bei fehlerhaften Arbeiten einer Operation wird nicht weitergerechnet, sondern wiederholt. Der Rechner arbeitet intern dual mit Gleitkomma mit 41 Dualstellen und ± 19 als Exponent. Eingabe und Speicherung erfolgen mit breiten 60-stelligen Lochbändern, ferner sind Relais-Speicherwerke für 200 Zahlen und 180 Konstanten vorhanden. Die Befehlseingabe erfolgt auch durch Lochband, je Befehl 30 Stellen, aber jeder wird zweimal abgelocht zur Steuerung der Parallelwerke.

Insgesamt wurden von der Firma Fuji Tsushinki Seizo bzw. Fuji Communication Apparatus Mfg. Co. folgende Relais-Rechner gebaut:

Jahr	Name	Anwendung	Bauelemente
1953—54	FACOM 100	univ.-wiss.	4500 Relais
1955	ETL Mark II	univ.-wiss.	„Large Scale Automatic Relay Computer“ 21 000 Relais (Abb. 7—9/5.6.6)
	FACOM 415 A	Statistik	
1956	FACOM 128	universell	4—5 mal schneller als FACOM 100 (Abb. 10 und 11/5.6.6)
	416	Statistik	
	426	Correlator	(Kosten: 7844 US-$)
	514	univ.-kaufm.	
1957	FACOM 138	univ.-wiss.	(Kosten: 47170 US-$) (Abb. 12/5.6.6)
	318	opt. Rechnungen	(Kosten: 26500 US-$) (Abb. 13/5.6.6)
	524	univ.-kaufm.	
	128 B	univ.-wiss.	(Kosten: 132 500 US-$)

Noch 1958 wurde in Japan ein Relaisrechner „CASIO“ kleinster Bauweise — von knapp der Größer eines Schreibtisches — angeboten, der nur um 6000,— DM kosten sollte.

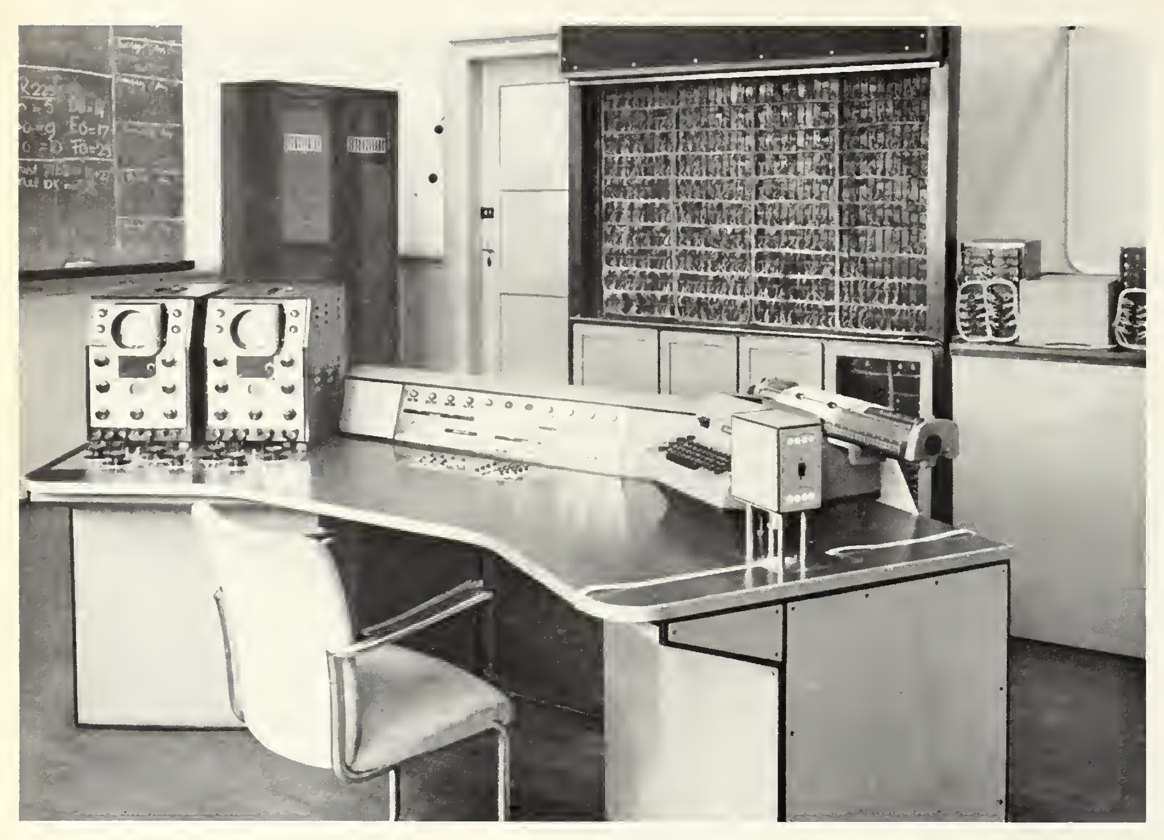


Abb. 33/5.6.2

Relaisrechner ARRA des Mathematisch Centrum Amsterdam. Operationszeiten: Addition 24 ms, Multiplikation 104 ms. Zwei Rechenwerke, 25 Grundbefehle im Einadreßsystem, je zwei in einem Dualwort zu 30 Stellen. Eingabe durch Lochstreifen oder Dezimaltastatur im Steuerpult. Ausgabe durch Blattschreiber. Speicherung durch Magnettrommel für 1024 Wörter. 10 ms mittlere Zugriffszeit. Ansteuerung der Trommelspuren durch Relais, der Wörter je Spur elektronisch.

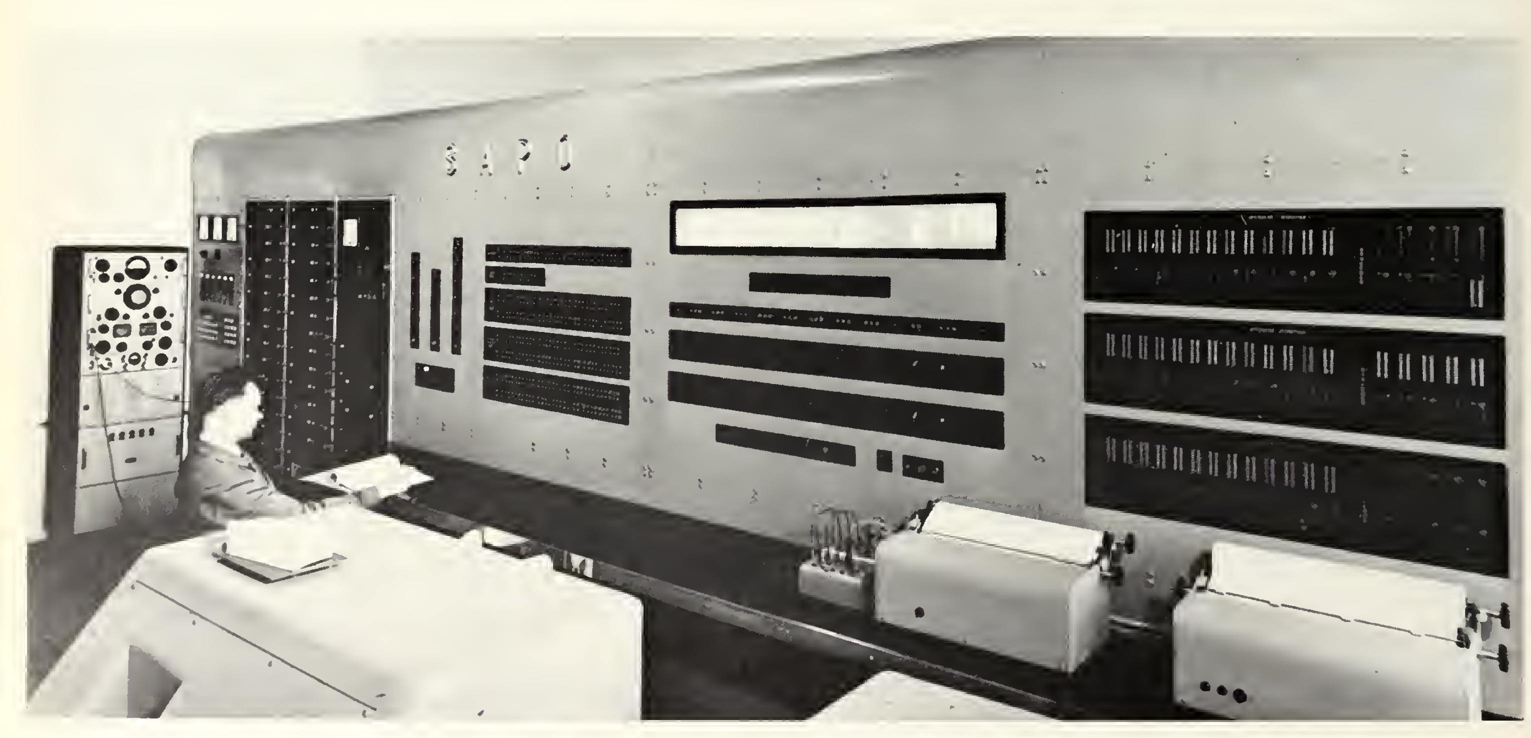


Abb. 34/5.6.4

Relaisrechner „SAPO" (Prag)



Abb. 35/5.6.5

OPREMA, Relais-Rechenanlage für optische Berechnungen von Carl Zeiß, Jena

Gesamtansicht. Fertiggestellt: 1955. Schaltelemente: 1700 polarisierte Relais (mit zwei stabilen Lagen) (siehe Abb. 5/8.1.2), wie bei ZUSE nur in spannungsfreiem Zustand geschaltet, 90 000 Selengleichrichter.

Ursprünglich als Zwillingsanlage zur gegenseitigen Überwachung gebaut, dank guter Zuverlässigkeit später in zwei Anlagen aufgeteilt. Eingabe von Daten und Programmsteuerung durch Stecktafeln, je Dezimalstelle ein „Tetradenstecker" mit 4 Stiften.

Arbeitsweise: intern dual, 39 Stellen, Eingabe dezimal in Stibitz-Code, Gleitkomma, 25 Dreiadreßbefehle, parallel, 150 Hz. Leistung: Addition 120 ms, Mutiplikation und Division 800 ms. Speicher: 32 Relaisregister als Arbeitsspeicher, 28 Stecktafelspeicher zur Eingabe, 4 Relaisregister zu je 80 Wörtern. Ausgabe in Schreibmaschine.



Abb. 37/5.6.5

OPREMA: Kommandopult

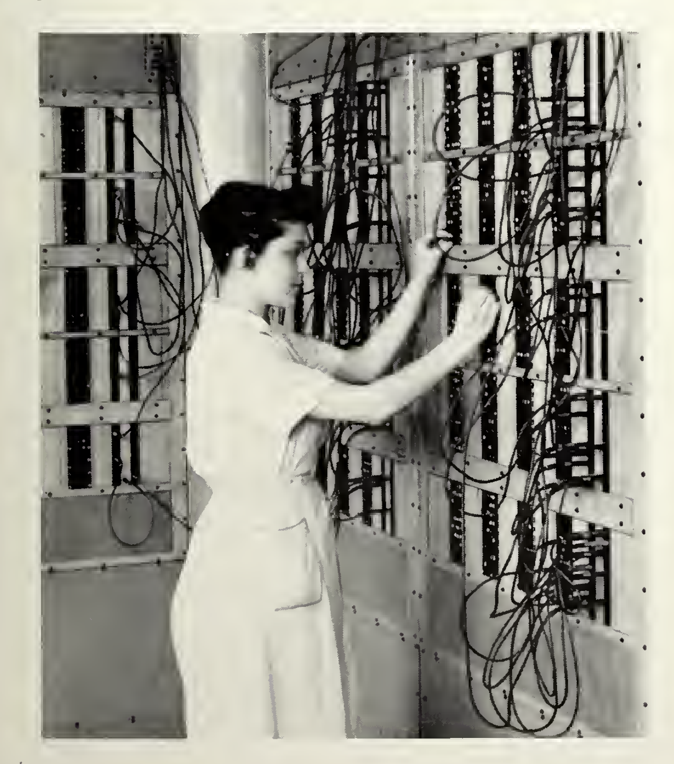


Abb. 36/5.6.5

OPREMA: Programmstecktafeln



Abb. 38/5.6.5

OPREMA Innenansicht der Zwillings-Rechenanlage

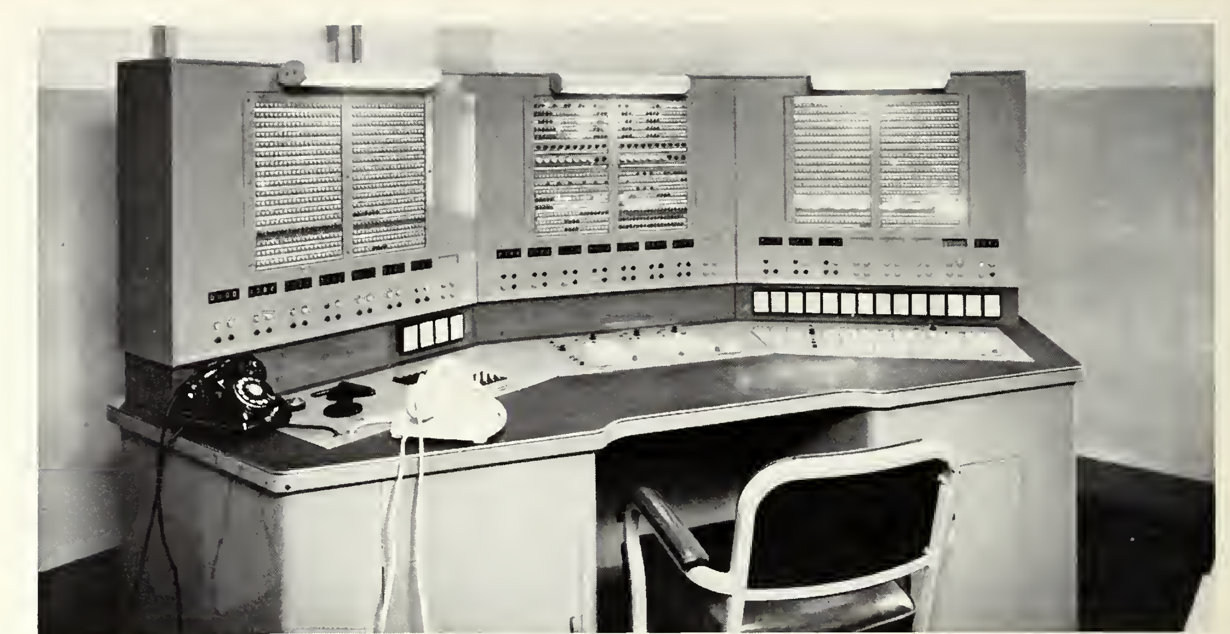


Abb. 39/5.6.6
ETL – Mark II Steuerpult



Abb. 40/5.6.6
ETL – Mark II
Lochbandspeicher
und Steuerpult

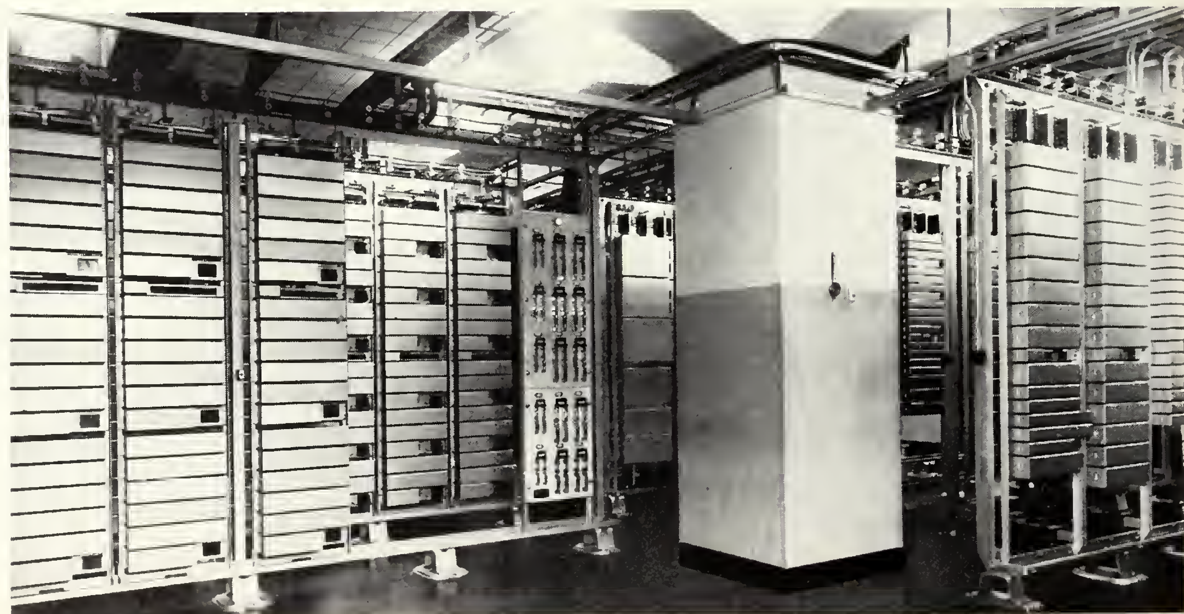


Abb. 41/5.6.6
ETL – Mark II
Relaisgestelle
des Rechenwerks

ETL Mark II Großer Relaisrechenautomat für wissenschaftliche Berechnungen

gebaut von:	*Lab. of Applied Mathematics, Electrotechnical Laboratory, Tokio, im Auftrag des Ministry of International Trade & Industry; der Aufbau selbst wurde von der Fa. Fuji Communication Apparatus Mfg. Co. durchgeführt.*
Fertigstellung:	*November 1955* *Die Maschine gleicht einem kleinen, bereits 1952–55 gebauten ersten japanischen Rechner-Modell Mark I und wurde nur in Größe und Kapazität erweitert.*
Programm-steuerung:	*Einadreß-Befehle in Lochband; Parallelmaschine. Der Rechner korrigiert sich selbst oder bleibt ohne Informationsverlust stehen.*
Wortlänge:	*42 Bits, binär arbeitend, Gleitkomma*
Geschwindigkeit (einschl. Zugriff):	*im Mittel: Übertragung 50 ms* *Addition 320 ms* *Multiplikation 750 ms* *Division 900 ms*
Speicher:	*intern: Relaisspeicher für 200 Wörter 30 ms* *Konstantenspeicher für 130 Wörter 30 ms* *} Zugriffszeit*
Ein-/Ausgabe:	*14 Bandleser 150 ms/Zeichen* *1 Zeilendrucker 400 ms/Zeichen* *3 Locher 150 ms/Zeichen* *} 60 Zeichen/Zeile*
Bauelemente:	*22 250 Relais*
Stromverbrauch:	*50 kW*
Raumbedarf:	*194 m²*

Literatur:

Motinori Goto und Yasuo Komamya: The Relay Computer ETL Mark II in W. Hoffmann: Digitale Informationswandler. Verlag Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1962, S. 580–594.
Motinori Goto u. a.: Theory and Structure of the Automatic Relay Computer ETL Mark II. Electrotechnical Lab. Tokio. Int. Academic Printing Co. Tokio 1956.

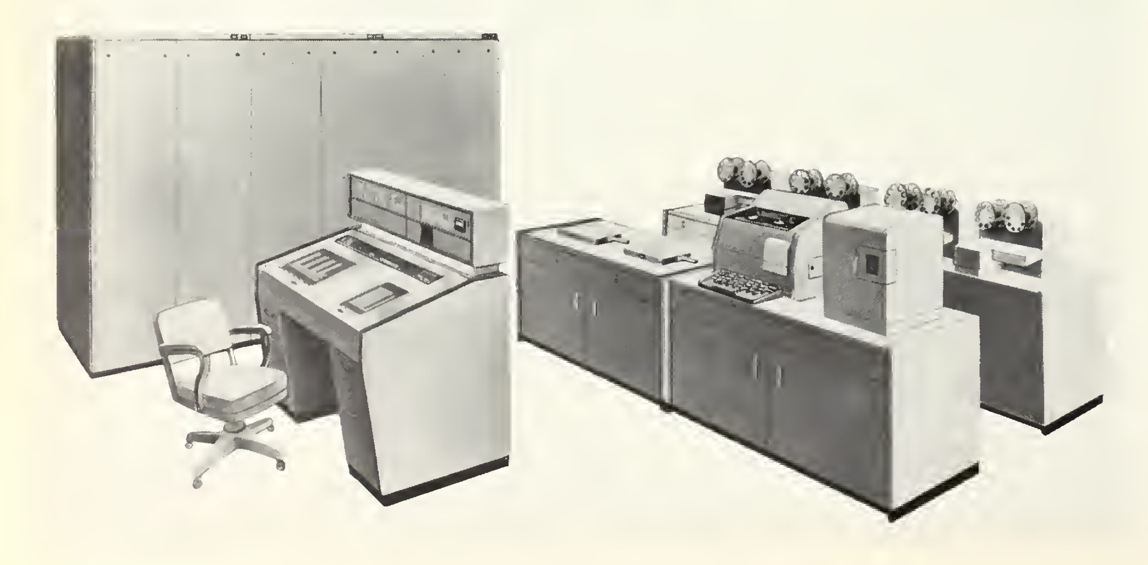


Abb. 42/5.6.6
Fuji Automatic Computer FACOM 128



Abb. 43/5.6.6
FACOM 128 Ansicht der geöffneten Relaisschränke

Abb. 44/5.6.6
Fuji Automatic Computer FACOM 138



FACOM – 100 General Purpose Computer

gebaut von:	*Fuji Communication Apparatus Mfg. Co.*	
Fertigstellung:	*Oktober 1954*	
Arbeitsweise:	*Dezimal (intern Stibitz-Code, extern 2 aus 5-Code), Dreiadreß-Befehle in Lochstreifen.*	
Geschwindigkeit im Mittel (einschl. Zugriff):	*Übertragung*	*0.2 s*
	Addition	*0.5 s*
	Multiplikation	*1.2 s*
	Division	*3.4 s*
	Quadratwurzel	*3.4 s*
Speicher:	*Relais-Speicher für 20 Wörter 30 ms Zugriffszeit*	
		Geschwindigkeit
Ein-/Ausgabe:	*3 Lochbandleser,*	*10 Zeichen/s,*
	3 Locher,	*10 Zeichen/s,*
	Streifenbreite 60 Spalten	*100 Zeilen/min,*
	1 Zeilendrucker,	
Arithmetik:	*Parallel*	
Bauelemente:	*4500 Relais*	
Stromverbrauch:	*3 kW*	
Raumbedarf:	*70 m²*	
Bemerkungen:	*Erster kommerzieller Relais-Rechenautomat in Japan*	

Abb. 45/5.6.6

Fuji Automatic Computer FACOM 318



FACOM 128 A Universal-Rechenanlage

gebaut von:	*Fuji Communication Apparatus Mfg. Co. für Institute of Statistical Mathematics of the Education Ministry, Tokio.*		
Fertigstellung:	*April 1956*		
Code:	*dezimal (extern 2-aus-5-Code; intern biquinär), parallel*		
Wortlänge:	*8 Ziffern und Exponent von − 19 bis + 19*		
Instruktionsart:	*Dreiadreß-Befehle in Lochband*		
Geschwindigkeit im Mittel (einschl. Zugriff):	*Übertragung*	*0,15 s*	
	Addition	*0,15 s*	
	Multiplikation	*0,23 s*	
	Division	*0,6 s*	
	Quadratwurzel	*0,6 s*	
			Zugriffszeit max.
Speicher:	*Koordinatenschalter*	*für 180 Wörter*	*0,15 s*
	Relaisregister	*für 8 Wörter*	*0,02 s*
	Konstanten-Relais	*für 50 Wörter*	*0,02 s*
Ein-/Ausgabe:	*8 Bandleser*	*7 Wörter/s*	
	1 Zeilendrucker	*100 Zeilen/min*	
	1 Bandlocher	*7 Wörter/s*	
Bauelemente:	*5000 Relais und 27 Koordinatenschalter (s. Abb. 7/8.1.2)*		
Stromverbrauch:	*1 kW*		
Raumbedarf:	*60 m²*		
Bemerkungen:	*Über 50 Unterprogramme mit bis zu 20 Schritten sind eingebaut, darunter Extraktion der Kubikwurzel, arithmetische Operationen an komplexen Zahlen, trigonometrische und Exponential-Funktionen, verschiedene Operationen an Vektoren, Matrizen und Polynomen, numerische Integration von Differentialgleichungen, Rechnen mit höherer Genauigkeit, usw. Dieser Rechner arbeitet wie der ETL-Mark II mit selbsttätiger Fehlerprüfung, welche die Rechnung bei Fehlern ohne Informationsverlust stoppt.*		

Ein Modell FACOM 128 B kam 1957 auf den Markt.

FACOM 138

gebaut von:	*Fuji Communication Apparatus Manufacturing Comp.*
erste Auslieferung:	*1957*
Code:	*biquinär, Parallelmaschine*
Wortlänge:	*8 Dezimalstellen*
Speicher:	*Relais, 48 Speicherplätze*
Bauelemente:	*Relais*

FACOM 318

gebaut von:	*Fuji Communication Apparatus Manufacturing Comp.*
erste Auslieferung:	*1957*

Die FACOM 318 ist eine Kleinanlage zur Lösung von kleineren, aber häufig anfallenden Problemen, insbesondere optischen Berechnungen.

Code:	*biquinär*
Wortlänge:	*8 Dezimalstellen*
Speicher:	*Relais, 22 Speicherplätze*
Bauelemente:	*Relais*

5.6.7 *In Schweden*

Dr. C. *Palm* entwickelte in Stockholm den *Binär Automatik Relay Kalkylator* BARK; er arbeitete wie der ARC dual und parallel, jedoch mit Gleitkomma und mit 24 + 8 Dualstellen. 7500 Relais waren eingebaut, davon 1300 im Rechenwerk, 5000 im Speicher für 300 Wörter (100 für Zwischenspeicherung) und 1200 in der Programmsteuerung. 840 Programmschritte mit Dreiadreß-Befehlen waren durch eine Steck-Schalttafel festzulegen; normalerweise wurde ein lineares Programm befolgt, doch waren auch Sprünge möglich. 200 Konstanten waren durch Drehschalter einzugeben; im übrigen arbeitete der Rechner mit Lochstreifen-Eingabe, wobei duale oder dezimale Schreibweise möglich war, und mit Streifenlochung oder Blattschreiber als Ausgabe in dezimalem oder oktalem Zahlensystem. Seine Leistung war bei Addition und Subtraktion 150 ms je Operation, bei Multiplikation 250 ms.

Literatur:
Stig Ekelöf: Les machines mathématiques en Suède. in: Transact. Chalmers University of Technology, Gothenburg, 116 (1951).

Der Hinweis von Leibniz über seine kostspielige Rechenmaschine:

"Non est facta pro his qui olera aut pisculos vendunt, sed pro observatoriis aut cameris computorum, aut aliis, qui sumptus facile ferunt et multo calculo egent" (Com. Epist.)

gilt heute für Rechenanlagen; und sorgfältiges Planen des zweckmäßigen Einsatzes ist kritisches Prüfen der Maschinen Vorbedingung für die erstrebte Wirtschaftlichkeit.





Charles Babbage (26. 12. 1792 – 20. 10. 1871)

"... I will yet venture to predict that a time will arrive when the accumulating labor which arises from the arithmetical applications of mathematical formulae, acting as a constant retarding force, shall ultimately impede the useful progress of the science, unless this or some equivalent method is devised for relieving it from the overwhelming incumbrance of numerical detail ..."

6. Nov. 1822



Dr. W. J. Eckert

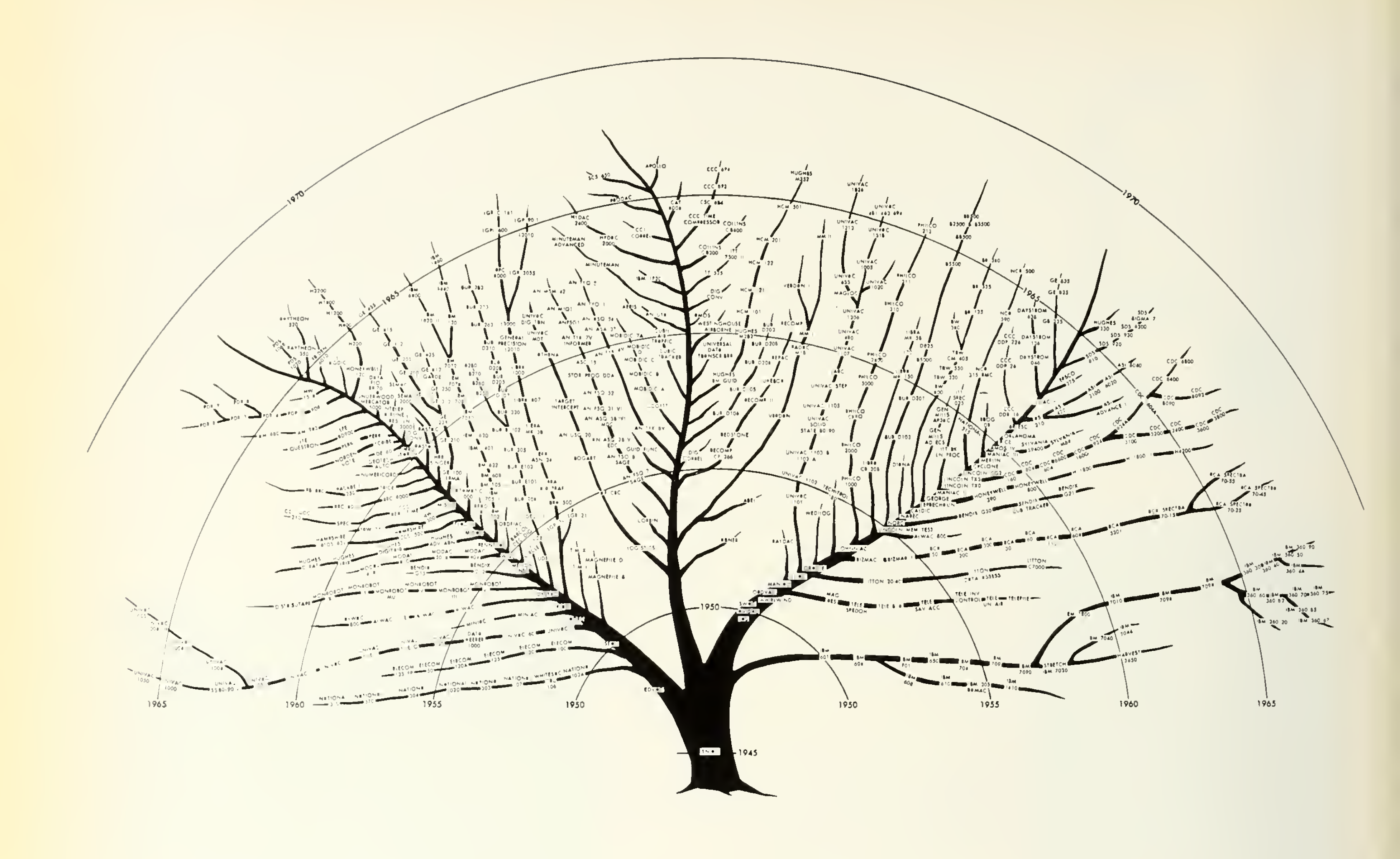


Thomas J. Watson (1874 – 1956)



Prof. Dr. Alwin Walther (1898 – 1967)

Erfinder und Konstrukteur, Manager und Pädagoge haben mit Entwicklung und Förderung der Datenverarbeitungstechnik der Menschheit ein neues Werkzeug in die Hand gegeben, das wie Pflug, Rad oder Kraftmaschine von unauslotbarem Nutzen sein kann.



This invention relates to methods and apparatus for performing computations involving arithmetical operations, at extremely high speeds, and with minimum use of mechanical elements, as generally so termed, and more particularly, relates to the art of electrical computing machines, with particular reference to a machine utilizing electronically produced pulses (i. e., sharp voltage changes not greater than five microseconds in duration) to represent digits and numbers, and using such pulses for control and programming operations, thus obviating the need for mechanically moving parts for these purposes. The present invention also relates to the method of using such pulses for computational purposes. In the progress of development of computing machines from the time of the use of pebbles or grains, and the application of the abacus, to the extensive mechanical or partly mechanical and partly electrical machines of the present day, the aim has been to remove from the mind of man as much as possible of the responsibility of remembering numbers, remembering the necessary computations to be performed, remembering and writing the results of parts of computations, and how and when to use such results of such parts in complete equations, as well as to effect the necessary operations more rapidly and without physical labor.

John Presper Eckert, Jr., and John W. Mauchly
US Pat. 3,120,606: Electronic Numerical Integrator and Computer vom 26. 6. 1947.

6 *Rechenautomaten in Röhrentechnik*

„Elektronenrechner der ersten Generation"

6.1 *Entwicklungen in den USA*



J. Prosper Eckert und John W. Mauchly, die Schöpfer des ENIAC

Der erste Rechenautomat in Röhrentechnik wurde in den USA von Dr. J. W. Mauchly und Dr. J. P. Eckert entworfen und an der Moore School of Electrical Engineering der Universität von Pennsylvania gebaut; er wurde an das Ballistic Research Laboratory des Aberdeen Proving Ground geliefert und ursprünglich vor allem für iterative Lösung von Differentialgleichungen eingesetzt. Dieser ENIAC arbeitete mit einer Impulsquelle von 100 kHz; zwanzig dezimale Ringzähler addierten und speicherten die ihnen durch je einen elektronischen Schalter, der vom Steuerwerk erregt wurde, zugeteilten Impulsfolgen. Die Zahlen wurden durchweg zehnstellig mit Vorzeichen dargestellt. Diese Schaltung entsprach demnach in gewissem Sinne der mechanischen Arbeitsweise des Harvard Mark I. Zum Multiplizieren diente als Schaltmatrix eine eingebaute Produktentafel, deren beide Ziffernstellen in zwei Akkumulatoren aufaddiert wurden. Zur Eingabe von konstanten Funktionswerten dienten drei Schalttafeln, deren jede 104 zwölfstellige Funktionswerte einzustellen erlaubte. Im übrigen waren Lochkarten-Leser und -Stanzer zur Ein/Ausgabe vorgesehen. Als Datenkanäle waren drei verschiedene Leitungsarten eingebaut: einer übertrug die Taktimpulse an alle Geräte und Schaltungen; der zweite elffache Kanal übertrug die Zählimpulse, der dritte die Steuerimpulse; beide wurden von Hand über Stecktafeln an die jeweiligen Geräte angeschaltet. Die einzelnen Stecktafeln der Geräte dienten zur weiteren Steuerung ihres Ablaufes. Später wurde eine zentrale Steuerung angebaut in Gestalt eines 100-Wege-Wählers, so daß 100 Operationen angesprochen werden konnten, deren Aufeinanderfolge an einer Programm-Tafel eingestellt werden konnte. Diese erste primitive Form von Programmierung erleichterte zwar die Einrichtung der großen und komplizierten Anlage für eine bestimmte Aufgabe wesentlich, aber verlangsamte ihre Arbeit auch beträchtlich.

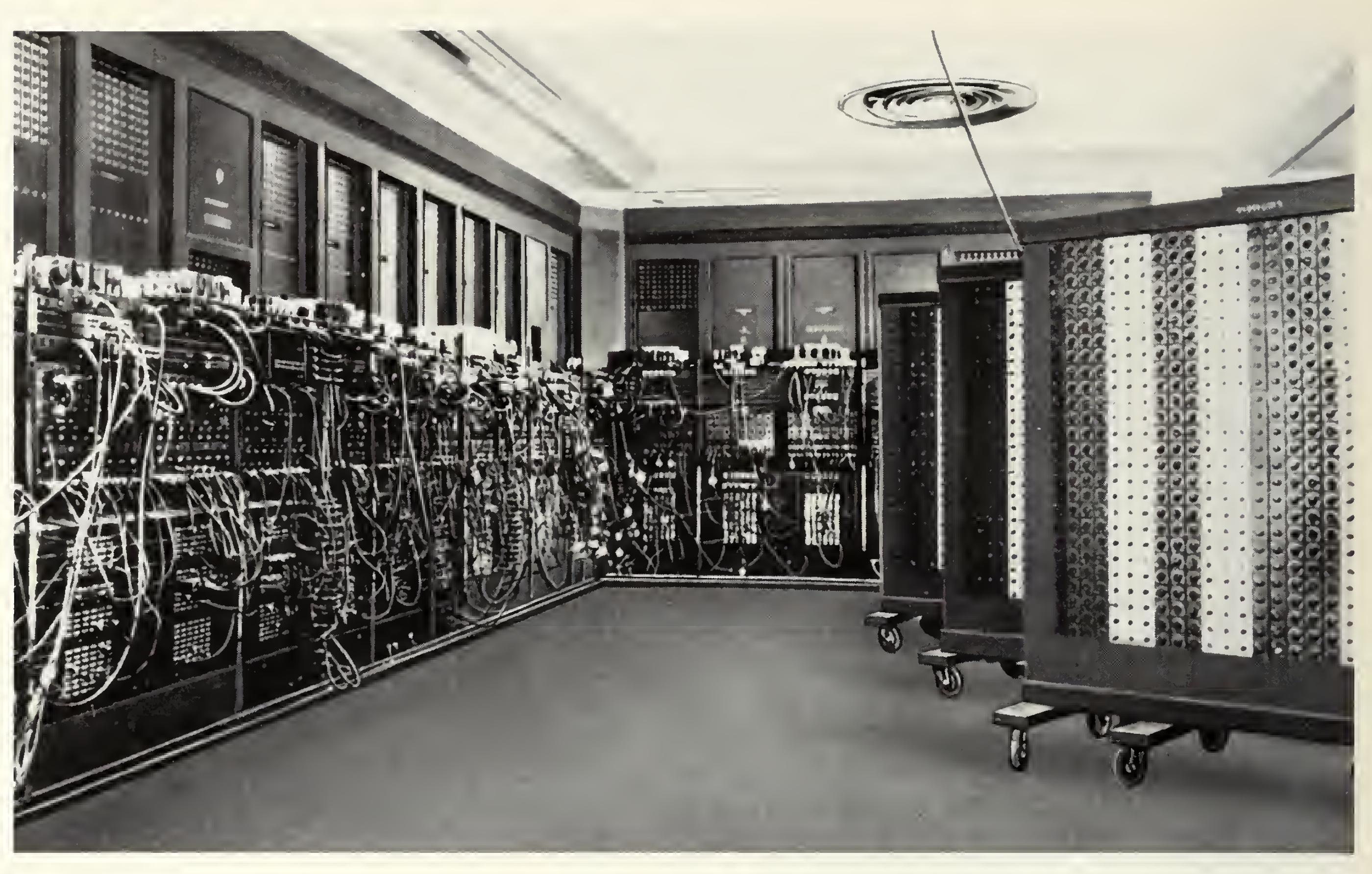


Abb. 1/6.1

Electronic Numerical Integrator and Computer „ENIAC", der erste arbeitsfähige digitale Röhrenrechner, begonnen 1943 von J. P. Eckert und J. W. Mauchly an der Moore School der University Pennsylvania, fertiggestellt 1946

Abb. 2/6.1

Electronic Numerical Integrator and Computer ENIAC

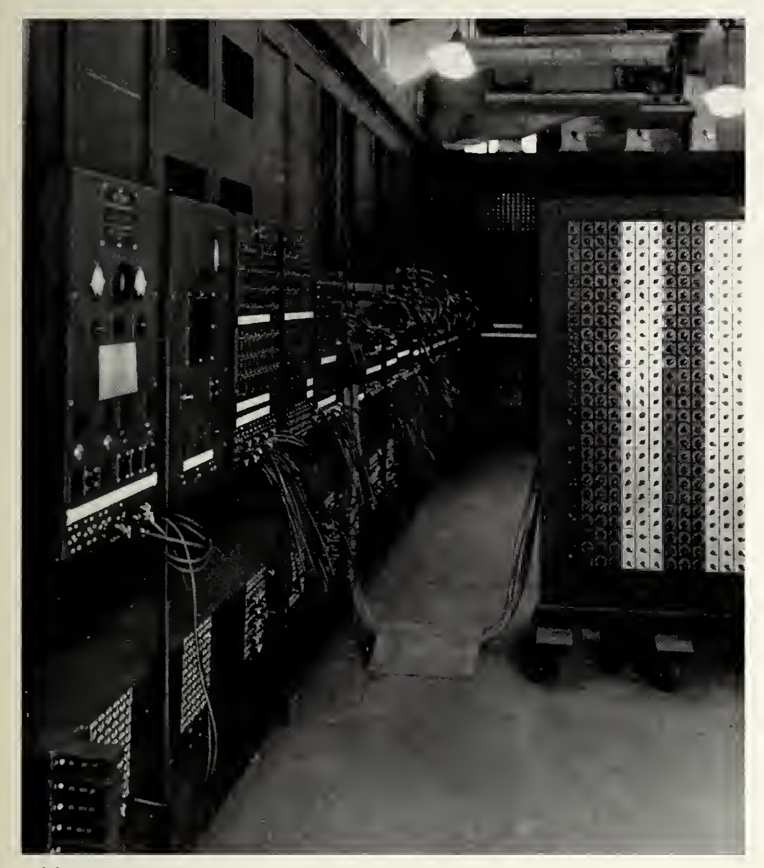


Abb. 3/6.1
ENIAC
vorn links der Taktgeber und Signalanzeige auf Kathodenstrahlröhre, rechts ein fahrbarer Funktionswertgeber

ENIAC (Electronical Numerical Integrator and Computer)

gebaut von:	*J. P. Eckert jr. und J. W. Mauchly, Moore School der Universität von Pennsylvania in Philadelphia, USA.*
Baubeginn:	*1943/44*
Fertigstellung:	*1946; geliefert an Aberdeen Proving Ground*
Code:	*dezimal, Parallelmaschine*
Wortlänge:	*10 Dezimalstellen*
Speicher:	*20 elektronische Register, 3 Funktionstafeln als Festspeicher*
Taktfrequenz:	*100 kHz (Addition 0,2 ms, Multiplik. 2,8 ms)*
Bauelemente:	*18 000 Röhren, 1500 Relais*
Verwendung:	*ENIAC war gedacht als Leitbahnrechner für das Ordnance Corps, US Army, wurde aber später universell angewendet. In Betrieb bis 1955*

Literatur:

D. R. Hartree: The ENIAC, an Electronical Computing Machine. Nature Bd. 158 (Okt. 1946), S. 500.

H. Goldstine und A. Goldstine: The Electronical Numerical Integrator and Computer. MTAC 2 (1946/47), S. 97.

M. V. Wilkes: The ENIAC. Electr. Engin. Bd. 19 (April 1947).

H. Rutishauser, A. Speiser und E. Stiefel: Programmgesteuerte digitale Rechengeräte. ZAMP Bd. 1 (1950), S. 277.

Abb. 4/6.1
ENIAC
fünf Register mit darüberliegenden Ziffernanzeigetafeln, darunter die Steckeinheiten, auf denen direkt das Programm gesteckt wurde



Abb. 5/6.1
IBM Selective Sequence Electronic Calculator „SSEC", gebaut von W. J. Eckert, 1944–1947

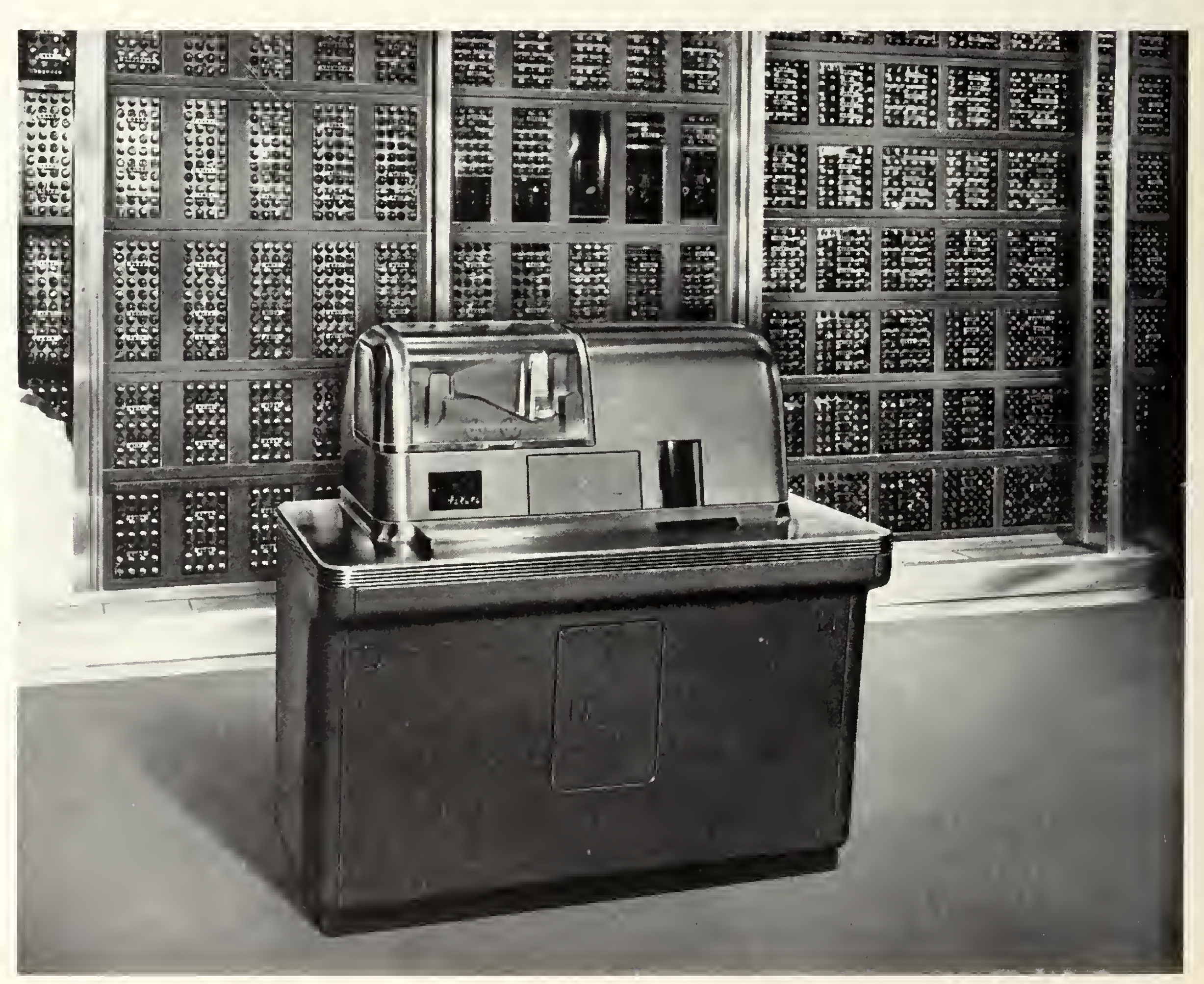


Abb. 6/6.1
SSEC Ausgabeeinheit mit IBM-Lochkartenanlage

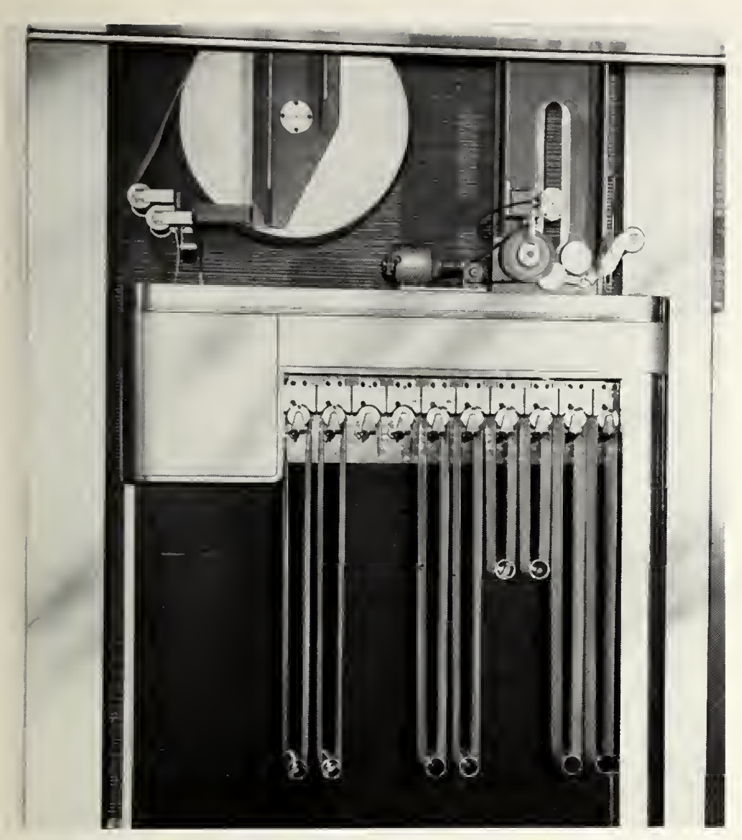
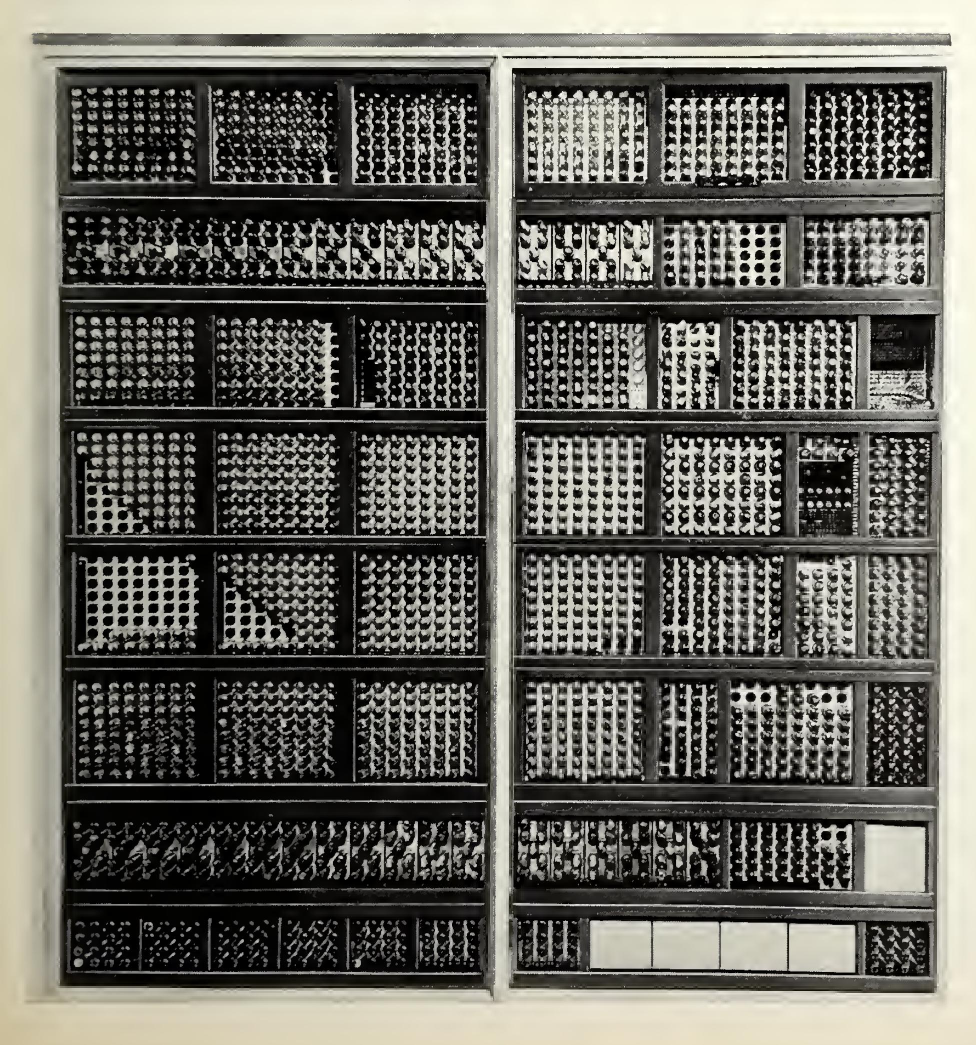


Abb. 7/6.1
SSEC eine der drei Lochstreifen-Speichereinheiten

SSEC (Selective Sequence Electronic Calculator)	
gebaut von:	*W. J. Eckert, R. R. Seeber jr. und F. E. Hamilton, IBM Corporation.*
Baubeginn:	*1944*
Fertigstellung:	*Versuchsaufbau 1947, Endaufbau 1948 in New York*
Code:	*dual-dezimal, Parallelmaschine*
Wortlänge:	*20 Dezimalstellen*
Speicher:	*Schnellspeicher aus Flip-Flops: 8 Speicherplätze; Relaisspeicher mit 150 Speicherplätzen; externer 80 stelliger Lochbandspeicher: 3 Einheiten mit je 20 000 Speicherplätzen.*
Taktfrequenz:	*50 kHz; Programmsteuerung durch insgesamt 66 Lochstreifenleser für Haupt- und wahlweise aufgerufene Unterprogramme (sowie für Tabellenwerte)*
Bauelemente:	*12 500 Röhren und 21 400 Relais*
Literatur:	*W. J. Eckert: Electrons and Computation. Scientific Monthly, 67 (1948), Heft 5.* *H. Rutishauser, A. Speiser und E. Stiefel: Programmgesteuerte digitale Rechengeräte. ZAMP Bd. 1 (1950).*



Die Firma IBM hatte, nach ihrer Mithilfe zu Aikens Mk I, mit diesem SSEC und etwa gleichzeitig mit der Entwicklung des „elektronischen Rechenlochers" IBM 604 (siehe Abb. 21/6.1) mit großer Initiative das neue Aufgabengebiet der elektronischen Rechentechnik aufgegriffen, dann aber für die Großanlagen wohl geringeren Marktbedarf abgeschätzt als für Lochkartenanlagen.

Abb. 8/6.1
SSEC Rechenwerk

Nach neuen, ausgeklügelten theoretischen Konzeptionen entworfen:

IAS–MANIAC

gebaut von:	*J. H. Bigelow, H. H. Goldstine und J. von Neumann, Institute for Advanced Studies, Princeton, USA.*
Baubeginn:	*1946*
Fertigstellung:	*1952*
Code:	*dual, Parallelmaschine*
Wortlänge:	*40 Dualstellen*
Speicher:	*elektrostatischer Speicher mit Williams-Röhren, 1024 Speicherplätze*
Steuerung:	*asynchron; bemerkenswert: Befehlsfolge-Zähler.*
Bauelemente:	*2300 Röhren.*

Literatur: *A. D. Booth und K. H. V. Britten: Principles and Progress in the Construction of High-Speed Digital Computers. Journal of Mech. and Appl. Math. Vol. II (1949).*
Engineering Research Assoc.: High Speed Computing Devices. McGraw-Hill Book Comp., 1950.
H. Rutishauser, A. Speiser und E. Stiefel: Programmgesteuerte digitale Rechengeräte. ZAMP Bd. 1 (1950).

Der IAS-Computer war ein Vorläufer der Nachbauten AVIDAC, ILLIAC, JOHNNIAC, ORACLE und ORDVAC.

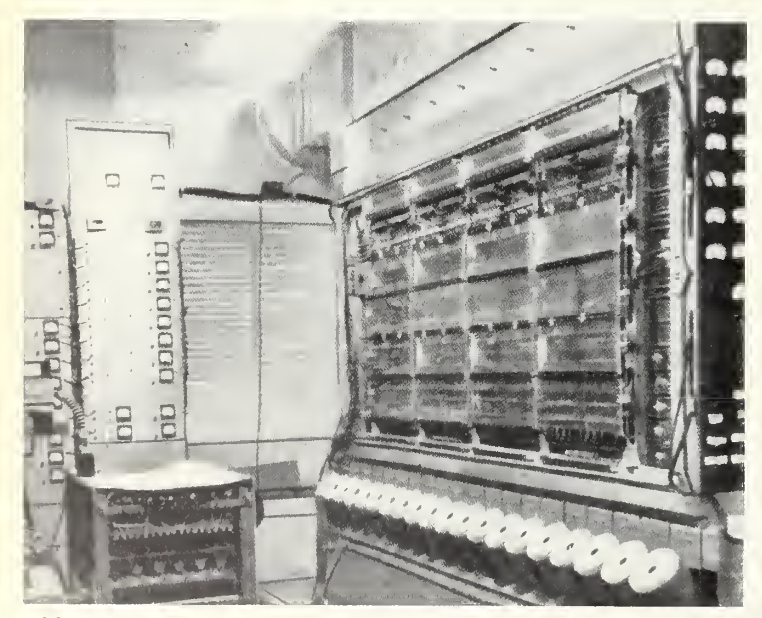


Abb. 9/6.1
Institute for Advanced Study Computer IAS

Aikens dritter Entwicklungsschritt auf Grund seiner reichhaltigen Erfahrungen an Mk I und Mk II:

Mark III ADEC

gebaut von:	*H. H. Aiken am Computation Laboratory of Harvard University, Cambridge, Mass.*
Baubeginn:	*1947*
Fertigstellung:	*1950* *Inbetriebnahme in Naval Proving Ground, Dahlgren, 1951*
Code:	*dual-dezimal*
Wortlänge:	*16 Dezimalstellen*
Speicher:	*8 Magnettrommeln mit 4200 Speicherplätzen (s. Abb. 31/8.3.5.2)*
Taktfrequenz:	*28 kHz (Addition 4 ms, Multiplik. 12 ms)*
Bauelemente:	*5000 Röhren, 1500 Relais, 1300 Dioden.*

Literatur: *B. L. Moore: The Mark III Calculator. Proc. Second Symposium Large-Scale Dig. Calc. Mach. 1949. Annals Comput. Lab. Harvard University Vol. 26.*
H. Rutishauser: Die neue elektronische Rechenmaschine. Neue Zürcher Zeitung, 26. April 1950, Bl. 5.
G. E. Poorte: The Operation and Logic of the Mark III in View of Operating Experience. Review of Dig. Comp., Joint AIEE-IRE Comp. Conf., Feb. 1952, S. 50.

Mark III wurde anfangs 1950 fertiggestellt. Er wurde bereits weitgehend in Röhrenelektronik aufgebaut und enthielt ursprünglich neben 2000 Relais 4500 Miniaturröhren auf 100 einzelnen Chassis, die mit 80-poliger Steckleiste in ein Gestell gesteckt werden konnten. Daten und Programm wurden mit schmalem Magnetband eingegeben; für Ein- und Ausgabe waren insgesamt 14 Bandeinheiten vorgesehen. Zum Ausschreiben dienten 5 magnetbandgesteuerte Schreibmaschinen. Als Speicher diente ein großes Magnettrommelwerk (Abb. 31/8.3.5.2). Ein Motor von 15 PS trieb 8 lange Trommeln mit 7200 U/min an (mittlere Zugriffszeit war also 4,2 ms). Jede Trommel wurde von etwa 500 Magnetköpfen beschrieben. Der Rechner erreichte einen Operationstakt von 4 ms für Addition, 12 ms für Multiplikation. Die Befehlsliste enthielt Befehle für einige mathematische Funktionen. Bemerkenswert am Mark III war die große Frontplatte, die wohl erstmals die Möglichkeit bot, den Inhalt jeder beliebigen Speicherzelle mittels Signallampen anzeigen zu lassen und manuell Zahlen einzugeben.

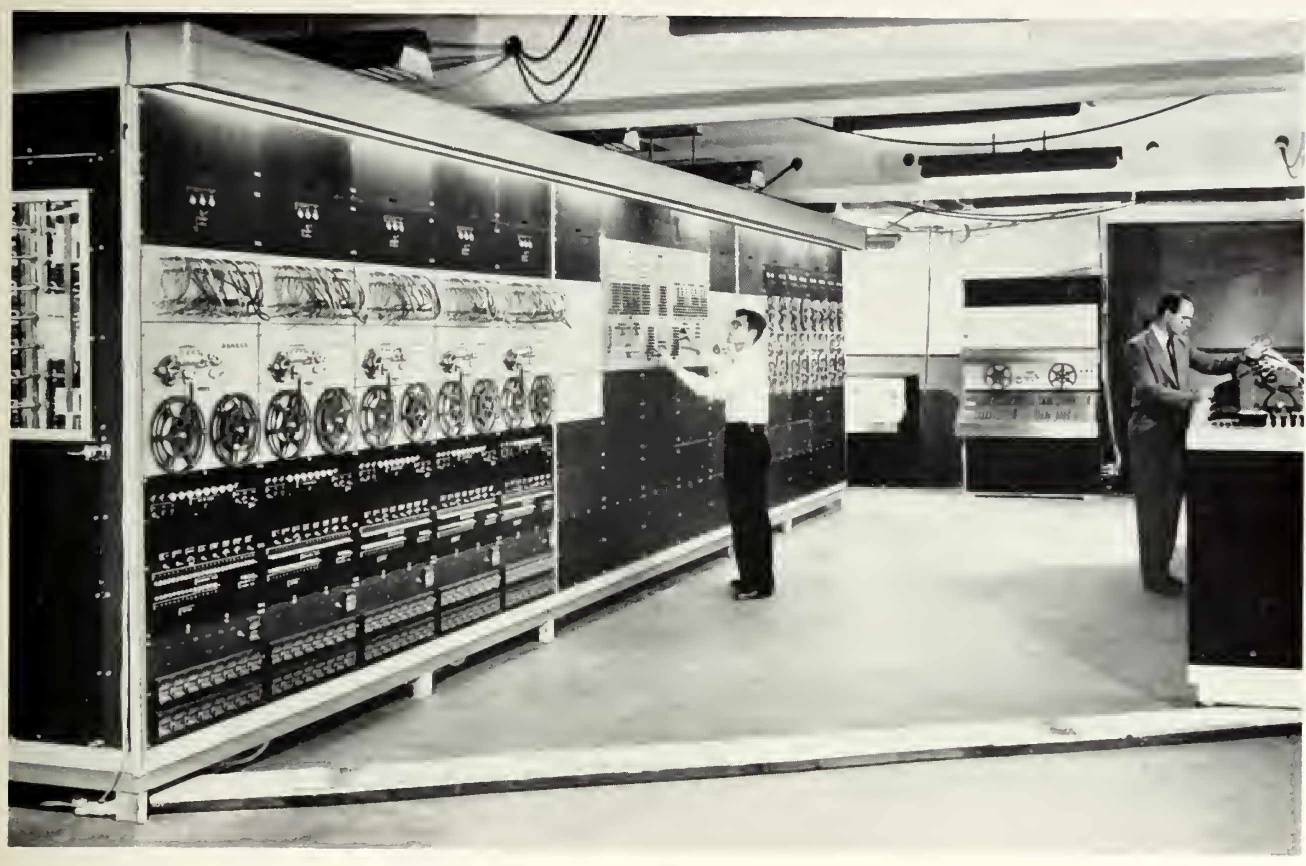


Abb. 10/6.1

Mark III Computer der Harvard University von H. H. Aiken am Computation Lab. Harvard University Cambridge, USA; fertiggestellt 1950/52, Herstellungskosten ca. 500 000 $. An der Frontplatte Prof. Ambros P. Speiser von der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich.

Rechts und links der Frontplatte die 14 Magnetbandgeräte, rechts gesondert stehend das „Off-Line" von Magnetbändern gespeiste Druckwerk aus 5 elektrischen Schreibmaschinen (je 10 Zch/s). Im Hintergrund das gesonderte „Planwerk" zum Vorbereiten der Programm-Magnetbänder.

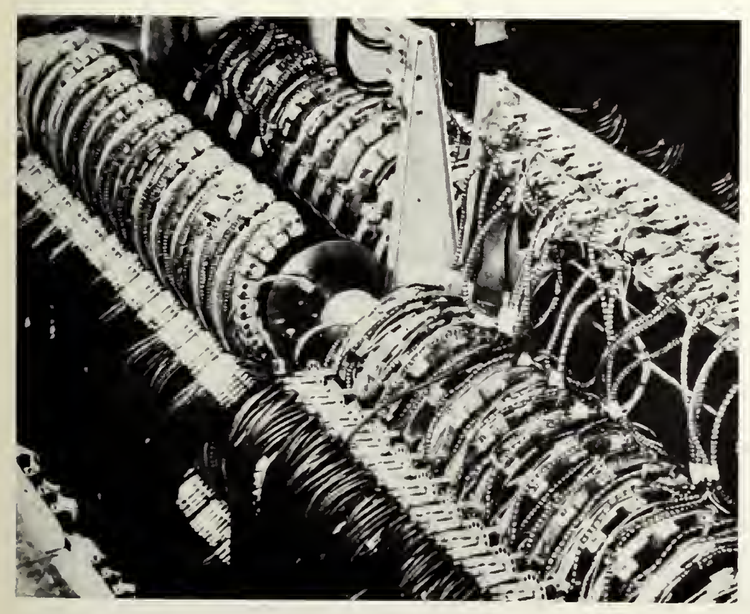


Abb. 11/6.1

Mark III Teilansicht der 8 Magnettrommeln mit montierten Köpfen (vgl. Abb. 31/8.3.5.2)
Abmessungen einer Trommel: Länge 1 m, Durchmesser 21,5 cm.



Abb. 12/6.1

Mark III Eingabefeld zur Beschreibung der Magnetbänder „Planwerk" (siehe Abb. 24/9.3).

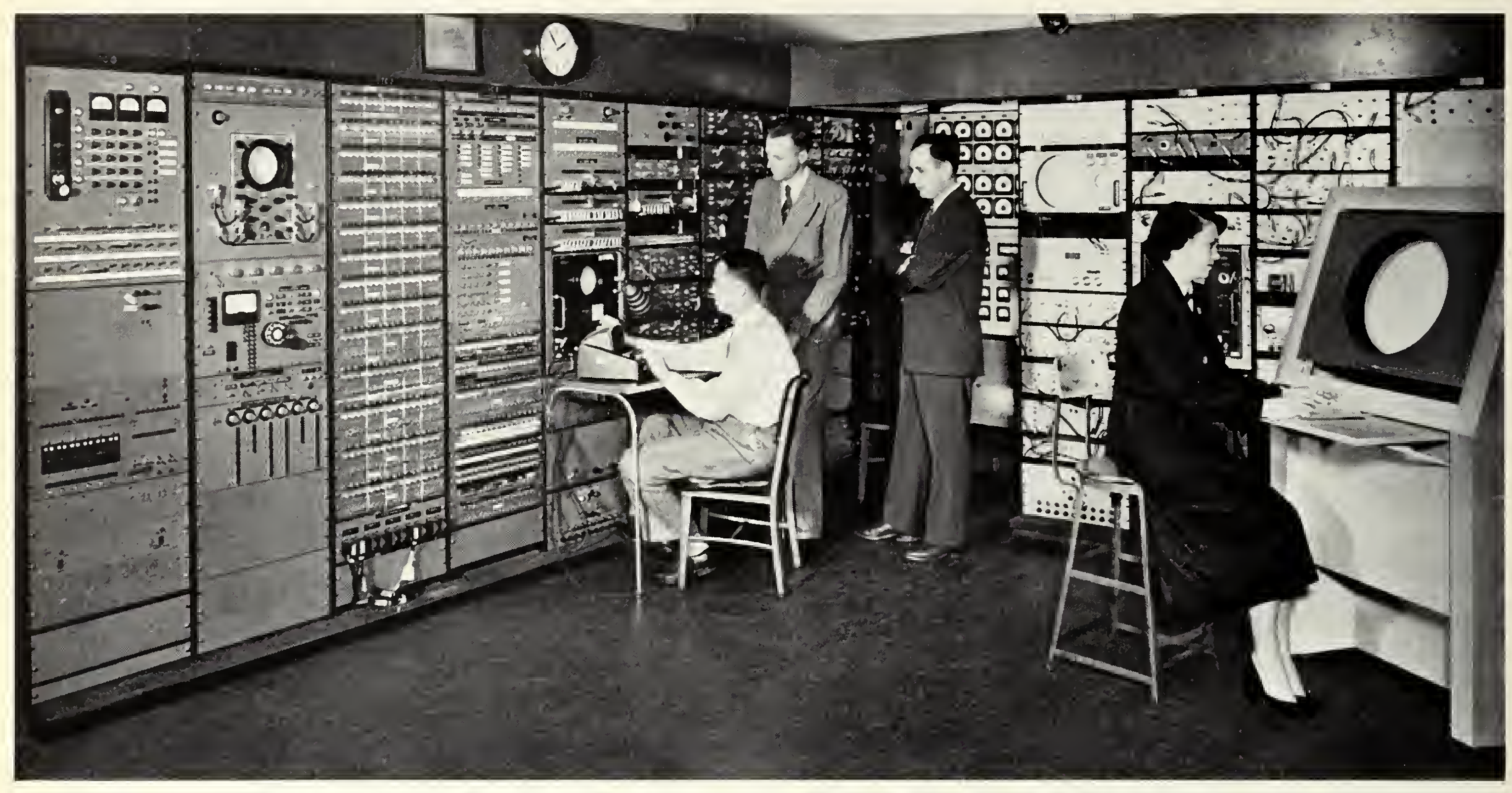


Abb. 13/6.1
Whirlwind I

Abb. 14/6.1
Whirlwind I
links das Rechenwerk, rechts das Gestell der elektrostatischen Speicherröhren

Endlich wird auch in den USA das der elektronischen Schaltungslogik angepaßte duale Zahlensystem als zweckmäßig erkannt und angewendet.

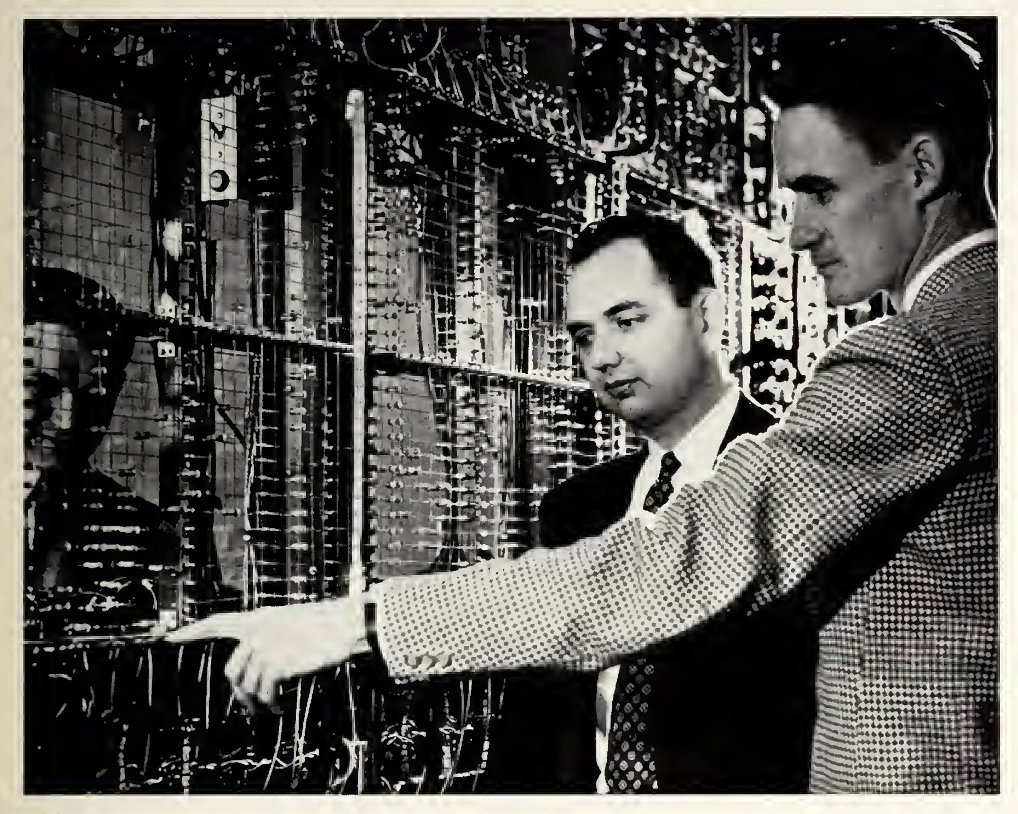


Abb. 15/6.1
Whirlwind I   Steuerwerk
Als einer der ersten Rechner wurde Whirlwind I mit Diodenmatrizen ausgerüstet, die hier zur Erzeugung der Steuerimpulse dienen.

Whirlwind

gebaut von:	*Digital Computer Laboratory am MIT (Massachusetts Institute of Technology), Cambridge*
Baubeginn:	*1947*
Fertigstellung:	*1950*
Code:	*dual, Parallelmaschine*
Wortlänge:	*16 Bits*
Speicher:	*34 Williams-Speicherröhren (2048 Speicherplätze); 1953 wurden die Speicherröhren durch die im MIT neu entwickelten Kernspeicher ersetzt (siehe Testrechner MTC, Abb. 36/6.1)*
Taktfrequenz:	*im Rechenwerk 2 MHz, in der übrigen Maschine 1 MHz*
Bauelemente:	*6800 Röhren, 1800 Relais, 22 000 Dioden.*

Literatur:
J. W. Forrester: The Digital Computation Program at MIT. Proc. Second Symposium Large-Scale Dig. Calc. Mach. 1949. Annals Comput. Lab. Harvard University Vol. 26.
R. R. Everett: Whirlwind I. Joint AIEE-IRE Comp. Conf., Feb. 1952.
N. H. Taylor: Evaluation of the Engineering Aspects of Whirlwind I. Joint AIEE-IRE Comp. Conf., Feb. 1952.



Abb. 16/6.1
Whirlwind I   Speicherwerk,
zwei elektrostatische Speicherröhren im geöffneten Gestell



Abb. 17/6.1
Binary Automatic Computer BINAC

Nach der Entwicklung des ENIAC hatten Dr. J. Presper Eckert und Prof. Dr. John W. Mauchly eine eigene Firma gegründet und bauten nach BINAC 1949 den UNIVAC mit Metall-Magnetband-Speichern. Dieser wurde vom *Bureau of Census* in Betrieb genommen, später noch ein zweiter.

Nach diesem Erfolg wurde 1950 diese Entwicklungsfirma von *Remington Rand* übernommen, die daraufhin den Namen UNIVAC auch für ihre eigenen Konstruktionen führen konnte und ihren Typ 409 UNIVAC 60 benannte. Remington steuerte seinerseits den Parallel-Zeilendrucker als bisher fehlendes schnelles Ausgabegerät bei.

Die Firma *Engineering Research Associates* baute ab 1948 die Rechenanlage ERA 1101 als eine der ersten mit Magnettrommelspeicher. Sie wurde 1950 an das Georgia Inst. of Technology geliefert, ein weiteres Modell ERA 1102 an das Air Research and Development Command in Tullahoma; ERA 1103 wurde nach Eingliederung auch dieser Firma in die Fa. *Remington Rand* als „UNIVAC Scientific" vertrieben. Dieser Rechner hatte zuerst Williams-Röhren als Speicher, wurde aber auf Ferritkernspeicher umgestellt.

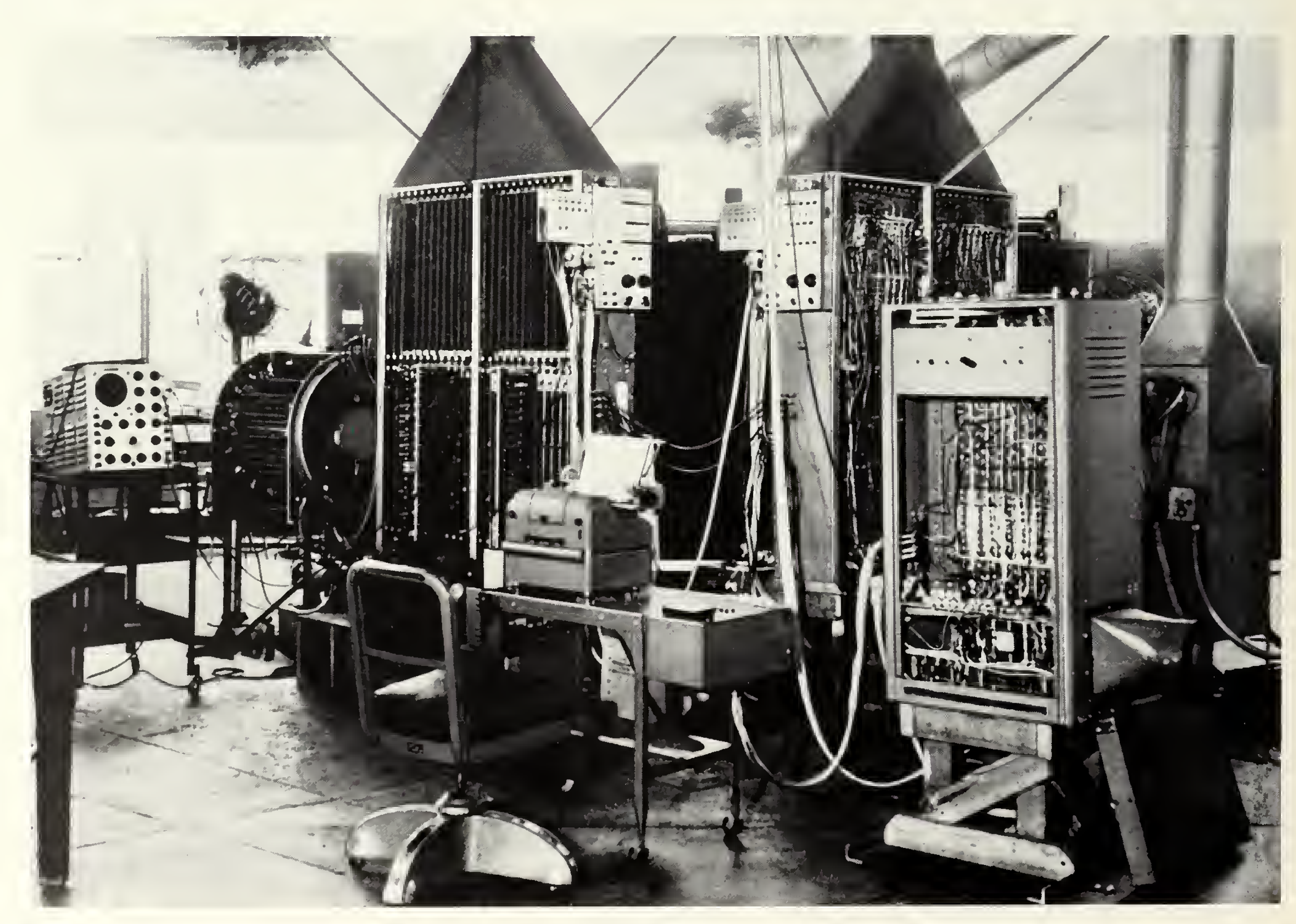


Abb. 18/6.1
BINAC während des Aufbaus

BINAC (Binary Automatic Computer)

gebaut von:	*Eckert-Mauchly Computer Corporation (später Remington Rand), Philadelphia*
Baubeginn:	*1948*
Fertigstellung:	*1949, ausgeliefert an Northrop-Flugzeugwerke.*
Code:	*dual, Serienmaschine*
Wortlänge:	*30 Bits*
Speicher:	*Quecksilber-Verzögerungsleitungen (512 Speicherplätze)*
Taktfrequenz:	*4 MHz*
Bauelemente:	*1400 Röhren*

Zur Fehlerkontrolle ist die Maschine mit zwei Rechenwerken und zwei Speicherwerken ausgerüstet, die parallel arbeiten. Bei jeder Operation werden sie auf Identität geprüft.

Literatur:	*F. L. Auerbach, J. P. Eckert, R. F. Shaw, J. R. Weiner, L. D. Wilson: The BINAC. Proc. IRE Vol. 40 (Jan. 1952) S. 12–29.*

SEAC (Standards Electronic Automatic Computer)

gebaut von:	*Electronic Computer Laboratory, National Bureau of Standards, Washington*
Baubeginn:	*1948*
Fertigstellung:	*1950*
Code:	*dual, Serienmaschine*
Wortlänge:	*44 Dualstellen, 3 Adressen + Folgeadresse im Befehl.*
Speicher:	*64 Quecksilber-Verzögerungsleitungen (siehe Abb. 6 und 7/8.3.3.1), 512 Speicherplätze, 45 Williams-Speicherröhren mit 186 ms Zugriffszeit, 512 Speicherplätze (siehe Abb. 14/8.3.4)*
Taktfrequenz:	*1 MHz*
Bauelemente:	*1300 (1625) Röhren vom Typ 6 AN 5* *16 000 (24 000) Germanium-Dioden.*

SEAC wurde gebaut, um dem Computer Laboratory als Testrechner und zur Erprobung von Bauelementen und Zusatzausrüstung zu dienen; er wurde 1964 außer Dienst gestellt.

Literatur:	*S. N. Alexander: The NBS SEAC Computer. Proc. of Joint AIEE-IRE Comp. Conf., Feb. 1952, S. 84–89.* *R. Slutz: Engineering Experience with SEAC. Proc. of Joint AIEE-IRE Comp. Conf., Feb. 1952, S. 90–94.* *A. Leiner: Provision for Expansion in the SEAC. MTAC V (1951) S. 232–237.* *Electronic Lab. Staff of NBS: The Operating Characteristics of SEAC. MTAC IV (1950) S. 229–230.*

Nachbauten von SEAC erfolgten bis 1953 mit den Rechnern DYSEAC = Second SEAC (Abb. 26/6.1), FLAC und MIDAC.

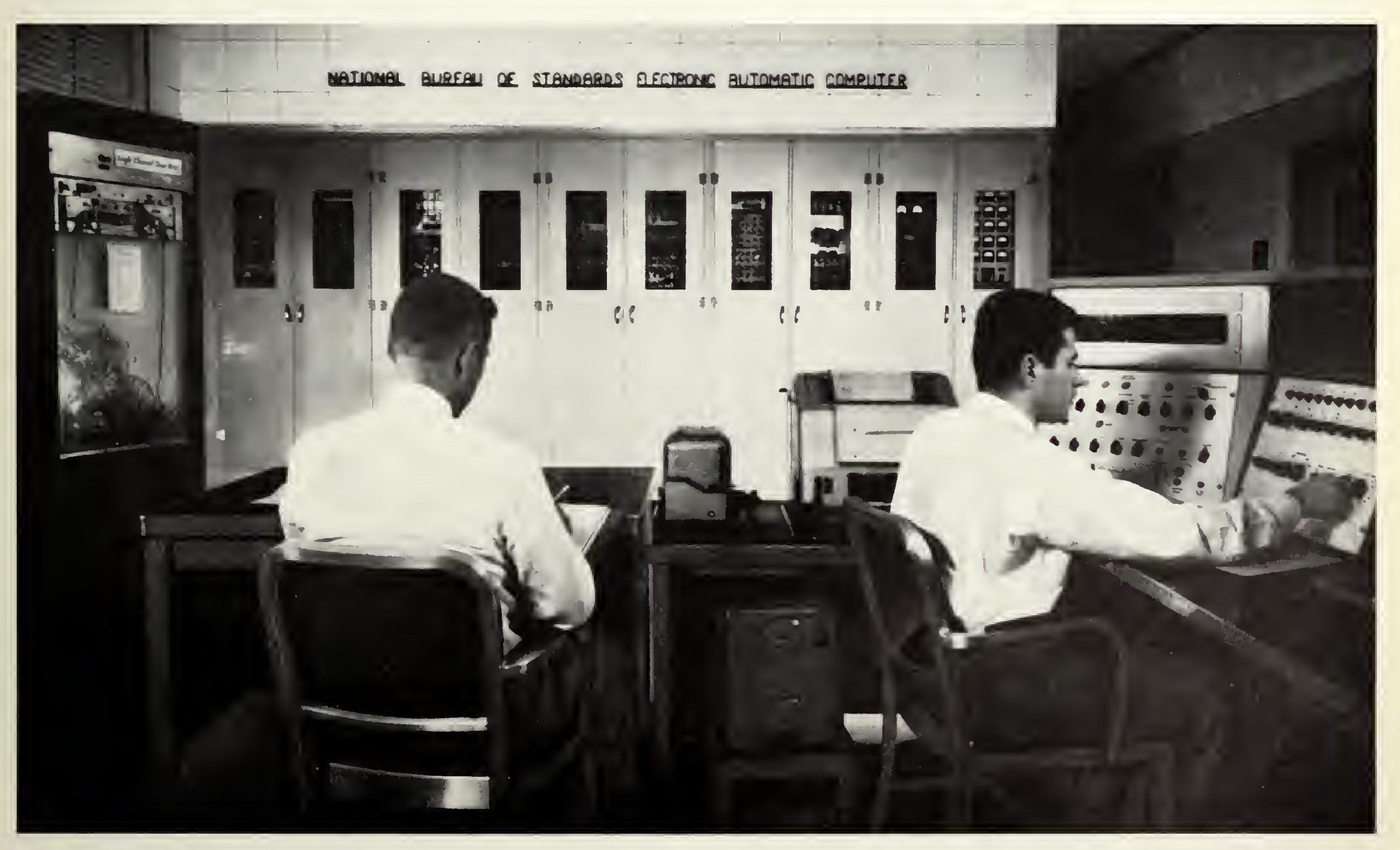


Abb. 19/6.1
Standards Electronic Automatic Computer SEAC

RAYDAC (Raytheon Digital Automatic Computer)

gebaut von:	*Computer Department, Raytheon Manufacturing Company for Office of Naval Research*
Baubeginn:	*1948*
Fertigstellung:	*1952*
Code:	*dual, Parallelmaschine*
Wortlänge:	*30 Bits*
Speicher:	*36 Verzögerungsleitungen (1152 Speicherplätze)*
Taktfrequenz:	*3,7 MHz*
Bauelemente:	*5200 Röhren, 17 300 Dioden*

Literatur:

R. M. Bloch, R. V. D. Campbell, M. Ellis: Logical Design of the Raytheon Computer. MTAC 3 (1948), S. 286–295.

C. F. West und J. E. De Turk: A Digital Computer for Scientific Applications. Proc. IRE Vol. 36 (Dez. 1948), S. 1452–1460.

R. M. Bloch: The Raytheon Electronical Digital Computer. Proc. Second Symposium Large-Scale Dig. Calc. Mach. 1949. Annals of Comp. Lab. Harvard University, Vol. XXVI, S. 50–64.

Abb. 20/6.1
Raytheon Digital Automatic Computer RAYDAC





Abb. 21/6.1
IBM 604 Electronic Calculating Punch

IBM 604

gebaut von:	*IBM Corperation*
Verwendungszweck:	*Die elektronische Recheneinheit 604 wird zusammen mit einer Tabelliereinheit (402 oder 417), dem Summenlocher 521 und einer Zusatzspeichereinheit 941 als IBM CPC = "Card Programmed Electronic Calculator" verwendet.*
Auslieferung:	*seit 1948*
Code:	*dual-dezimal, Parallelmaschine*
Wortlänge:	*variabel*
Speicher:	*Röhrenregister (50 Speicherplätze)*
Taktfrequenz:	*50 kHz*
Bauelemente:	*1400 Röhren, 125 Relais*
Stromverbrauch:	*6,9 kW*
	Der Rechner 604 wurde zum Typ 608 in Transistorbauweise fortentwickelt.

IBM Card Programmed Electronic Calculator = CPC (1951)

CPC führt alle Rechenoperationen aus in der Reihenfolge und mit den Daten, die durch die Eingabe- und Programmkarten festgelegt sind, kann Programmentscheidungen treffen und speichern.

CPC besteht aus 4 unabhängigen, auch einzeln betriebsfähigen Maschinen, die durch Kabel verbunden sind:

402	Tabelliermaschine (oder 417)	sind bekannte, nur leicht veränderte Maschinen
604	Elektronische Recheneinheit	
521	Summenlocher	

941 Zusatzspeichereinheit wurde neu entwickelt.

Speicherkapazität:

37-Zeichen-Speicher des Akkumulators (Rechenregisters) im Rechner 604

80 Ziffernstellen der Tabelliermaschinen-Zählwerke,

160, 320 oder 480 Zeichen in den elektromechanischen Speicherwerken des 941.

Kartenlesen in 402:	150 K/min Lesen, 100 K/min, wenn auch tabelliert wird.
Kartenlesen in 417:	150 K/min Lesen, 150 K/min, wenn auch tabelliert wird.
Rechnen in 604:	60 Programmschritte verfügbar.
Speichern in 941:	je 16 Zahlen zu 10 Stellen + Vorzeichen.

Lochen von Summenkarten in 521.

Die vier Maschinen sind durch Kabel —, „Kanäle" miteinander verbunden: Kanal A und B verbinden alle, C nur die Speicher. Jede Karte trägt eine Operation und die anzuwählenden Kanäle = Adressen für Faktoren und Ergebnis; sie trägt ferner ggf. zwei Operanden, die von den Kanälen aufgenommen werden sollen.

Beispiel:
Addition

Kartenfeld:	Code:	Bedeutung:
Card No	124	Karte 124 einer Programmfolge.
Channel A	00	Lies Zahl aus der Karte in Feld A.
Operation	1	Addiere die Zahlen aus Kanälen A und B.
	X	Tabelliere die Summe.
Channel B	00	Lies die Zahl aus der Karte in Kanal B.
Channel C	73	Addiere die Summe in Zählwerk 3 der Tabelliermaschine.
Card Entry A Card Entry B		Hier werden die Summanden eingelocht.

Die einzelnen Maschinen müssen entsprechend ihren Aufgaben in ihrer Stecktafel vorbereitet sein. Durch geschickte Ausnutzung der Stecktafel-Programmierung lassen sich je Kartenbefehl bereits ziemlich verwickelte Operationen durchführen, soweit die 60 Schritte je Kartengang es erlauben.

Später wurde die CPC zusammengestellt aus den Maschinen

Tabelliermaschine	412—418	wie 402	jedoch mit den Zusatzeinrichtungen zum Zusammenspiel
Elektron. Rechner	605	wie 604	
Schnellstanzer	527		
Zusatzspeicher	941		

Jeder Programmschritt ist 0,74 ms lang, die Multiplikations- und Divisions-Schritte sind nur 0,46 ms lang. Die 60 Schritte können auch wiederholt werden.



Abb. 22/6.1
Universal Automatic Computer UNIVAC I



Abb. 23/6.1
Harvard Magnetic Drum Calculator Mark IV



Abb. 24/6.1
Office of Air Research Automatic Computer OARAC

Mit UNIVAC war der erste Schritt zur serienmäßig hergestellten Computer-Reihe vollzogen:

UNIVAC Scientific für wissenschaftliche,
UNIVAC File für kommerzielle Anwendung.

Die Firma Remington Rand unterschätzte jedoch die Erfordernisse an Schulung und Serviceleistung, die ein neuer Kundenkreis und ein die herkömmlichen Arbeitsabläufe so radikal veränderndes Werkzeug wie kommerziell eingesetzte Rechenanlagen verlangen.

Eine UNIVAC Factronic I war 1957 im Battelle-Institut in Frankfurt/Main aufgestellt.

UNIVAC I (Universal Automatic Computer)

gebaut von:	*Eckert-Mauchly Computer Corp., später Division of Remington Rand Inc., Philadelphia*
Baubeginn:	*1949*
Fertigstellung:	*1951, Preislage (1957) ca. 1 Mio $*

Bis 1953 wurden insgesamt 6 Anlagen dieses Typs gebaut.

Code:	*dual-dezimal (Stibitz-Code), Serienmaschine*
Wortlänge:	*12 Dezimalstellen, Festkomma*
Speicher:	*100 Quecksilber-Verzögerungsleitungen (1000 Speicherplätze); Befehlsfolge-Zähler.*
Taktfrequenz:	*2,25 MHz (Addition 0,5 ms)*
Bauelemente:	*5600 Röhren, 18 000 Dioden, 300 Relais.*
Literatur:	*An Introduction to the UNIVAC-System. Eckert-Mauchly Computer Corp. 1950. H. Rutishauser, A. Speiser, E. Stiefel: Programmgesteuerte digitale Rechengeräte. ZAMP 1 (1950).*

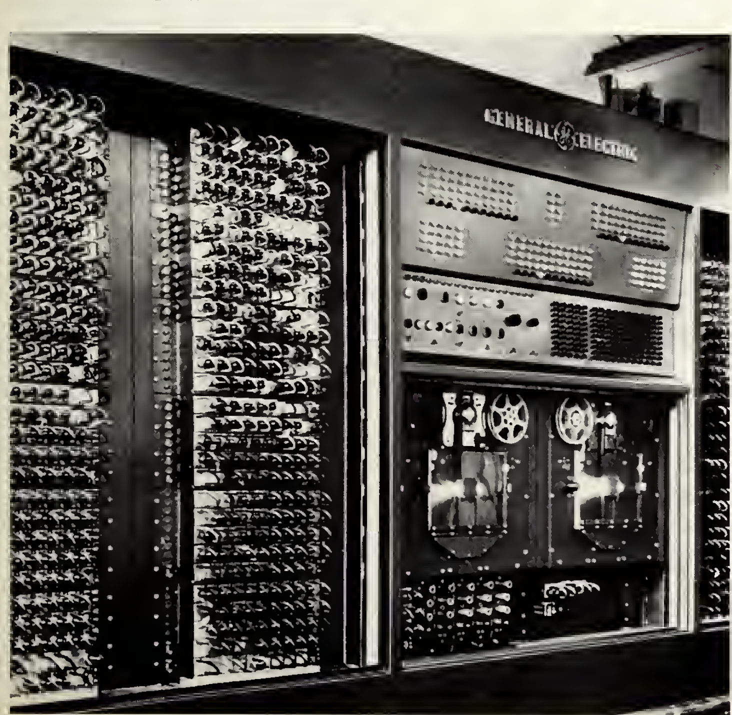
Der erste UNIVAC, der im Bureau of Census arbeitete, wurde nach 12½ Jahren = 73 000 Betriebsstunden im Oktober 1963 außer Dienst gestellt. Das Speicherwerk wurde im Smithsonian-Museum, Washington, D. C., aufgestellt.

Dieser vierte von Prof. Aiken gebaute Rechner diente in gewissem Maße als Vorbild für die Planungen des DERA durch das Institut für Praktische Mathematik der TH Darmstadt, da Prof. Dr. A. Walther schon bald nach 1945 in wissenschaftlichen Kontakt mit Prof. Aiken getreten war.

Mark IV

gebaut von:	*H. H. Aiken am Computation Laboratory, Harvard University, Cambridge, Mass.*
Baubeginn:	*1950*
Fertigstellung:	*1952*
Code:	*verschlüsseltes Dezimalsystem*
Wortlänge:	*16 Dezimalstellen*
Speicher:	*Magnetische Speicherketten (230 Speicherplätze), Magnettrommel (4000 Speicherplätze) (s. Abb. 32/8.3.5.2)*
Taktfrequenz:	*16 kHz*
Bauelemente:	*4000 Röhren.*
Literatur:	*Progress Reports of Computation Laboratory of Harvard University, Vol. 8–23.*

Abb. 25/6.1
OARAC mit geöffneten Türen



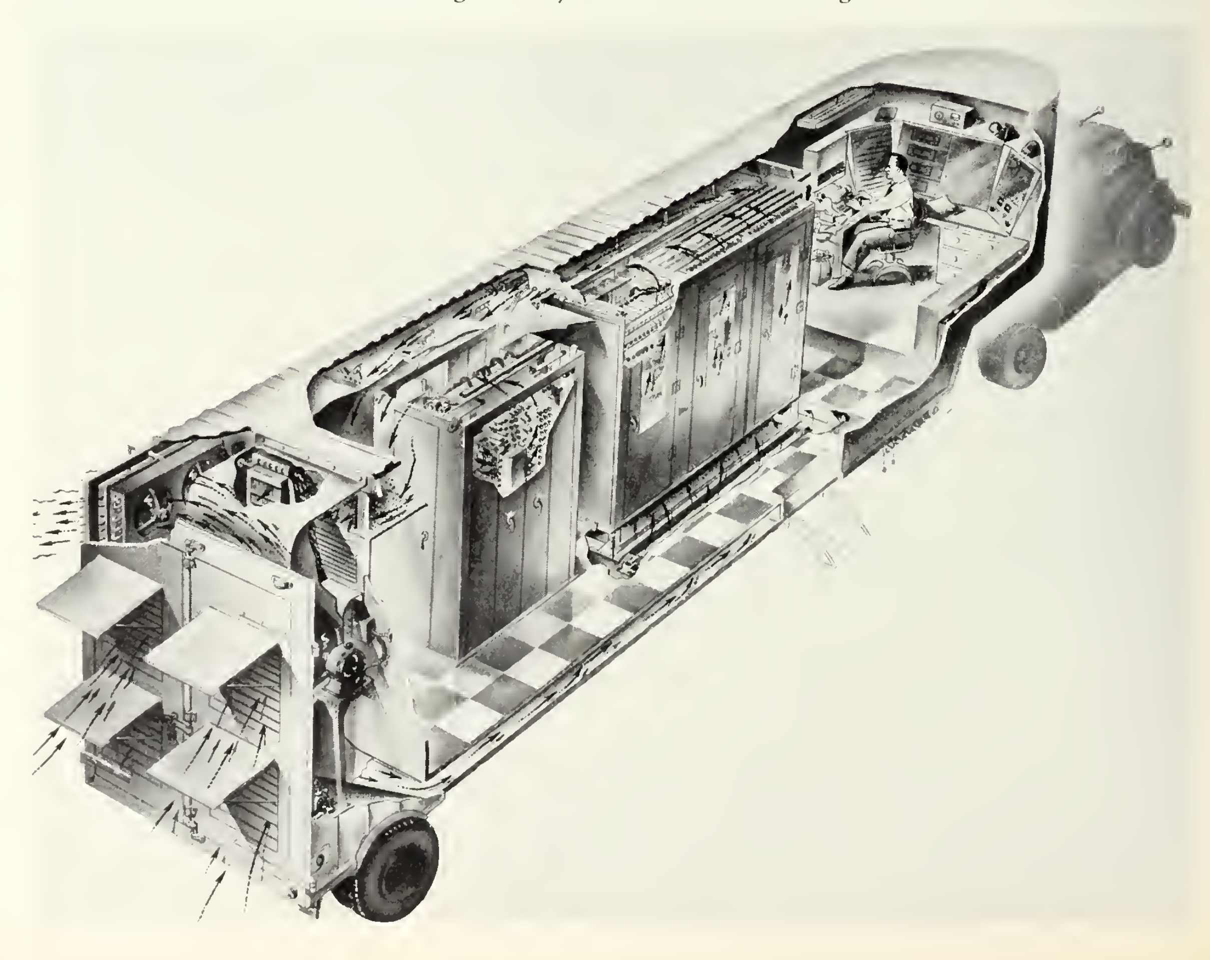
OARAC (Office of Air Research Automatic Computer)

gebaut von:	*B. R. Lester, General Electric Company, Syracuse N. Y.*
Baubeginn:	*1949*
Fertigstellung:	*1953*
Code:	*dual-dezimal, Parallelbetrieb in Rechen- und Steuereinheit, Rest der Maschine in Serienbetrieb*
Wortlänge:	*10 Dezimalstellen*
Speicher:	*Magnettrommel (10 000 Speicherplätze) (vgl. 8.3.5.2)*
Taktfrequenz:	*150 kHz*
Bauelemente:	*1400 Röhren, 7000 Dioden, 240 Relais.*
Literatur:	*B. R. Lester: A General Electric Engineering Digital Computer. Proc. Second Symposium Large-Scale Dig. Calc. Mach. 1949. Annals Comput. Lab. Harvard University Vol. 26, S. 65–70.*



Abb. 26/6.1
Second SEAC = DYSEAC, fahrbare Rechenanlage im Lastwagen-Anhänger

Abb. 27/6.1
Second SEAC = DYSEAC: Darstellung des Aufbaus als Schnittzeichnung



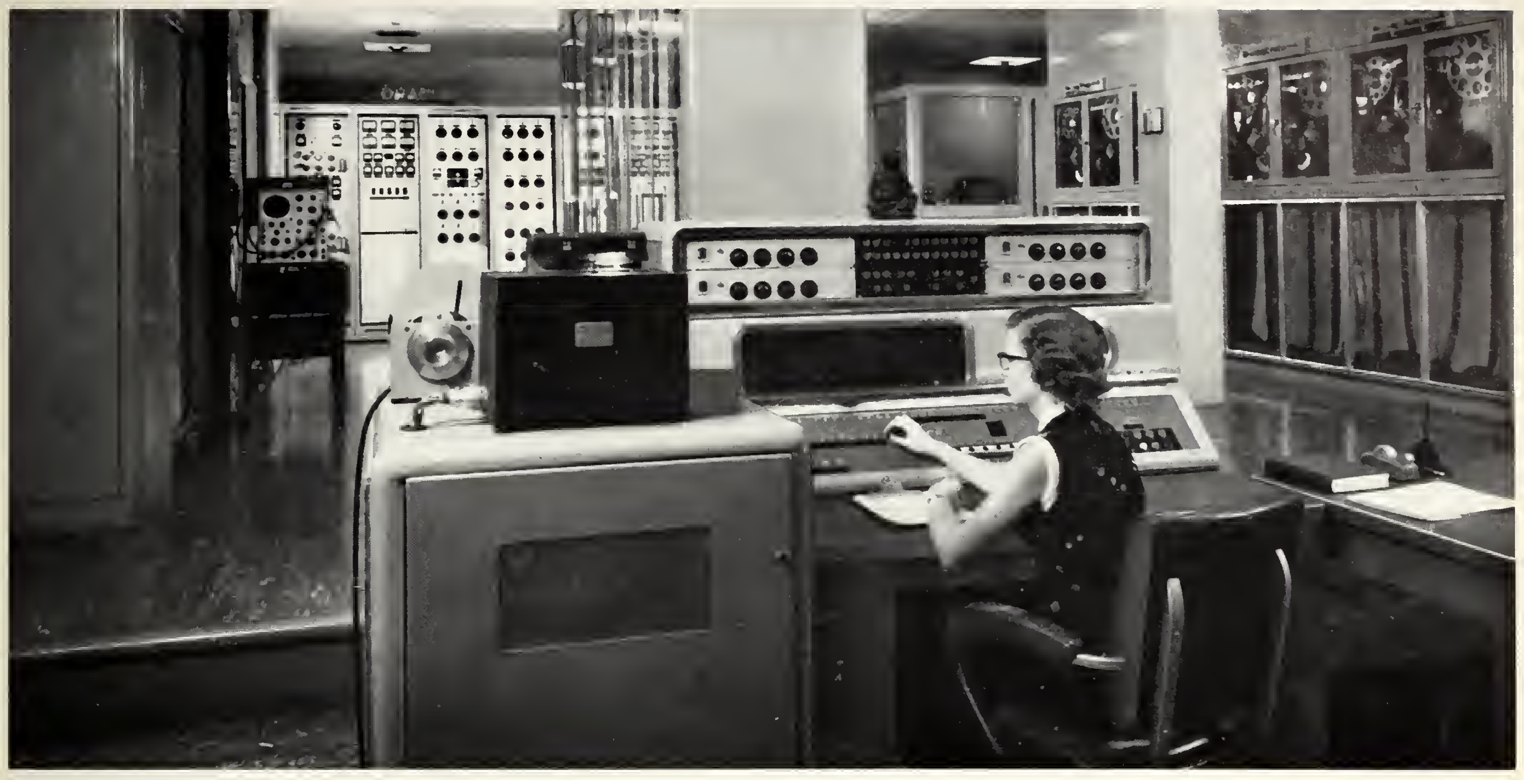


Abb. 28/6.1
Oak Ridge Automatic Computer and Logical Engine ORACLE

DYSEAC = Second SEAC

gebaut von:	*Electronic Computer Laboratory für das National Bureau of Standards in Washington*
Fertigstellung:	*1953*
Code:	*dual, Serienmaschine*
Wortlänge:	*45 Bits*
Speicher:	*64 Quecksilber-Verzögerungsleitungen (512 Speicherplätze) Magnettrommel (8500 Speicherplätze)*
Taktfrequenz:	*1 MHz*
Bauelemente:	*1250 Röhren, 20 000 Dioden.*
Literatur:	*A. L. Leiner: System Specifications for the DYSEAC. NBS Report 1951 (Sept. 1952).*

ORACLE (Oak Ridge Automatic Computer and Logical Engine)
gebaut von: *J. Alexander, E. Burdette, A. Burks und J. C. Chu beim Argonne National Laboratory*

Dieser Rechner wurde nach Vorbild des IAS-Rechners (siehe Abb. 9/6.1) gebaut.

Baubeginn:	*1950*
Fertigstellung:	*1954*
Code:	*dual, Parallelmaschine*
Wortlänge:	*40 Bits*
Speicher:	*80 Williams-Speicherröhren (1024 Speicherplätze)*
Steuerung:	*asynchron*
Bauelemente:	*3500 Röhren*
Literatur:	*J. C. Chu: The Oak Ridge Automatic Computer. C. L. Perry: The Logical Design of the ORACLE. Beide Artikel erschienen in: Proc. of the 1952 Meeting of Assoc. for Comp. Machinery, University of Toronto, S. 142–148 bzw. S. 23–27.*

Abb. 29/6.1
ORACLE Speicherwerk mit Williams-Speicherröhren



Logistics Computer

gebaut von:	*Engineering Research Associates, Division of Remington Rand Corp.*
Verwendungszweck:	*Der Rechner wurde für das Logistics Research Project der Universität Washington im Auftrag des Office of Naval Research gebaut, um für spezielle Probleme der militärischen Logistik (Ausrüstungs- und Nachschub-Planung betr.) größte Datenmengen mit einfachen mathematischen Operationen verarbeiten zu können.*
Fertigstellung:	*1953*
Code:	*dual-dezimal (Stibitz-Code)*
Wortlänge:	*variabel von 4 bis 12 Dezimalstellen*
Speicher:	*Schnellspeicher aus 5 elektronischen Registern (41 Speicherplätze), Magnettrommel (175 000 Speicherplätze)*
Taktfrequenz:	*220 kHz*
Bauelemente:	*3500 Röhren, 2000 Dioden, 200 Relais.*

NORC (Naval Ordnance Research Calculator)

gebaut von:	*IBM Corp. für das Bureau of Ordnance of the US Navy*	
Fertigstellung:	*1954*	
Code:	*dual-dezimal, Parallelmaschine*	
Wortlänge:	*16 Dezimalstellen*	
Speicher:	*Williams-Speicherröhren (2000 Speicherplätze)* *8 Magnetbandeinheiten 70 000 Zch/s, 20 Bits/mm*	
Operationsgeschwindigkeit:	*Addition:*	*20 μs*
	Multiplikation:	*40 μs*
	Division:	*200 μs*
Ein/Ausgabe:	*Lochkarten-Leser:*	*7,5 Karten/s*
	Lochkarten-Stanzer:	*1,7 Karten/s*
	Drucker:	*3,3 Zeilen/s*
	(aus der Tabelliermaschine 407 entwickelt)	

Diese Entwicklung wurde zur EDPM-Anlage 701 (Abb 33/6.1) fortgeführt.

Literatur: *W. J. Eckert und Rebecca Jones: Schneller, schneller. IBM Deutschland 1956, 176 S.*

Abb. 30/6.1
The Logistics Computer

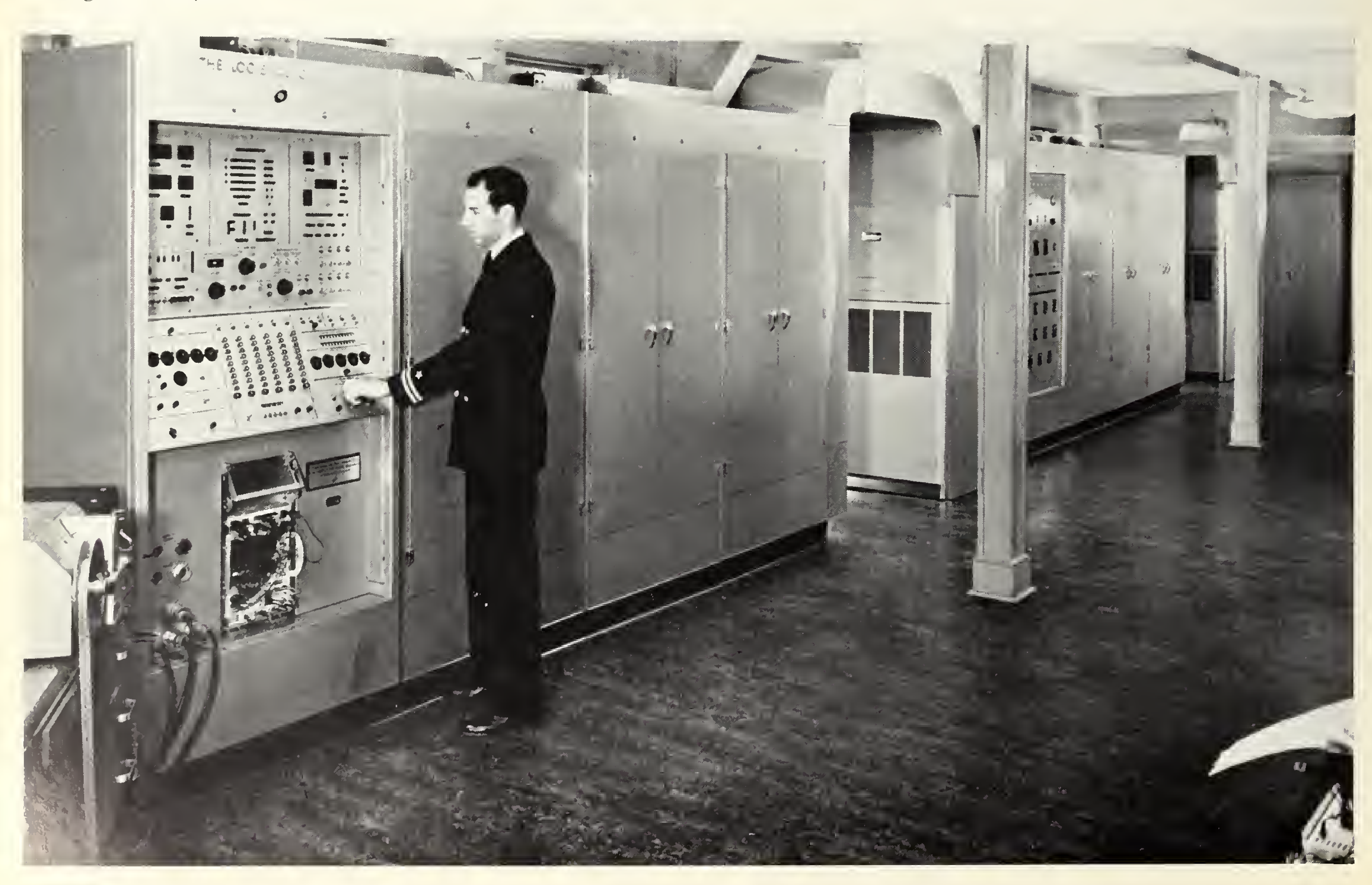




Abb. 31/6.1
Naval Ordnance Research Calculator NORC

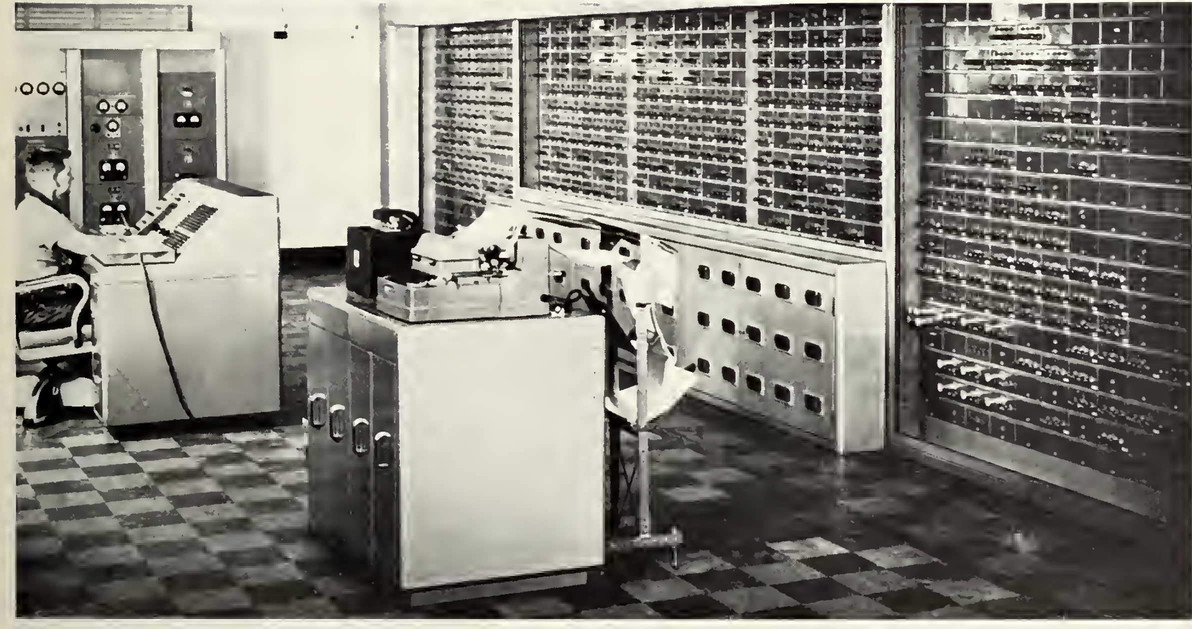


Abb. 32/6.1
Naval Research Laboratory Electronic Digital Computer NAREC

NAREC (Naval Research Laboratory Electronic Digital Computer)

gebaut von:	*D. H. Gridley, B. L. Sarahan und R. M. Page vom Naval Research Laboratory, Washington*
Baubeginn:	*1950*
Fertigstellung:	*1952*
Code:	*dual, Parallelmaschine*
Wortlänge:	*45 Bits*
Speicher:	*45 Williams-Speicherröhren (1024 Speicherplätze) Magnettrommel (2048 Speicherplätze)*
Steuerung:	*asynchron*
Bauelemente:	*2000 Röhren, 20 000 Dioden.*
Literatur:	*D. H. Gridley und B. L. Sarahan: Proposed Design of the NRL Electronic Digital Computer. NRL Report 3714, Naval Research Lab., Washington 1950.*



Abb. 33/6.1

IBM 701 Electronic Data Processing Machine

gebaut von:	*IBM Corp.*
Baubeginn:	*1952*
erste Auslieferung:	*1953*
Code:	*dual, Parallelmaschine*
Wortlänge:	*36 Bits*
Speicher:	*Elektrostatische Speicher (2048 Speicherplätze)* *(IBM 706) Magnettrommel (8192 Speicherplätze)*
Taktfrequenz:	*1 MHz*
Bauelemente:	*4000 Röhren, 15 000 Dioden*

Diese Anlage ist 25mal schneller als die SSCC vier Jahre vorher, hat aber nur 1/4 von deren Größe.

Die kommerzielle Version der 701 wurde 1954 als 702 angekündigt; sie wurde im Herbst 1955 bei der Bank of America in San Francisco aufgestellt.



Abb. 34/6.1

Magnettrommelrechner IBM 650



Abb. 35/6.1
Memory Test Computer MTC des MIT

Bisher wurden ausschließlich für finanzstarke staatliche Auftraggeber Großanlagen gebaut.

Jetzt erweist sich das Interesse und die Nachfrage nach kleineren Rechenanlagen als Entwicklungs-bestimmend, und neben den wissenschaftlichen treten die kommerziellen Aufgaben in den Vordergrund.

IBM 650

gebaut von:	*IBM Corporation*
erste Auslieferung:	*1954*
Code:	*biquinär, Serien-Parallelmaschine*
Wortlänge:	*10 Dezimalstellen, 1 + 1 Adressen im Befehl*
Speicher:	*Magnettrommel (2000 oder 4000 Speicherplätze) (s. Abb. 36/8.3.5.2)*
Taktfrequenz:	*125 kHz*
Bauelemente:	*2000 Röhren, 5000 Dioden*

Die IBM 650 war eine der verbreitetsten Anlagen. Über 1500 Rechner dieses Typs wurden gefertigt. Mit diesem Modell begann IBM auch die Fertigung im deutschen Werk Sindelfingen wieder aufzunehmen (siehe Abb. 67/6.3).

Memory Test Computer MTC

Der Test-Rechner MTC wurde im Massachusetts Institute of Technology (MIT) gebaut, um einen neu entwickelten Ferritkern-Speicher mit dem Koinzidenzstrom-Prinzip zu erproben (siehe auch Abb. 52/8.3.6.1).

Die erste Matrix wurde 1949 angefangen, 1952 die erste 16 x 16-Matrix erfolgreich erprobt.

Der Rechner MTC wurde im Jahre 1953 fertiggestellt.

Der Ferritkernspeicher selbst wurde später anstelle der Williams-Röhren im Whirlwind I eingebaut.

Abb. 36/6.1
MTC Im Vordergrund das Gestell mit dem ersten Ferritkern-speicher

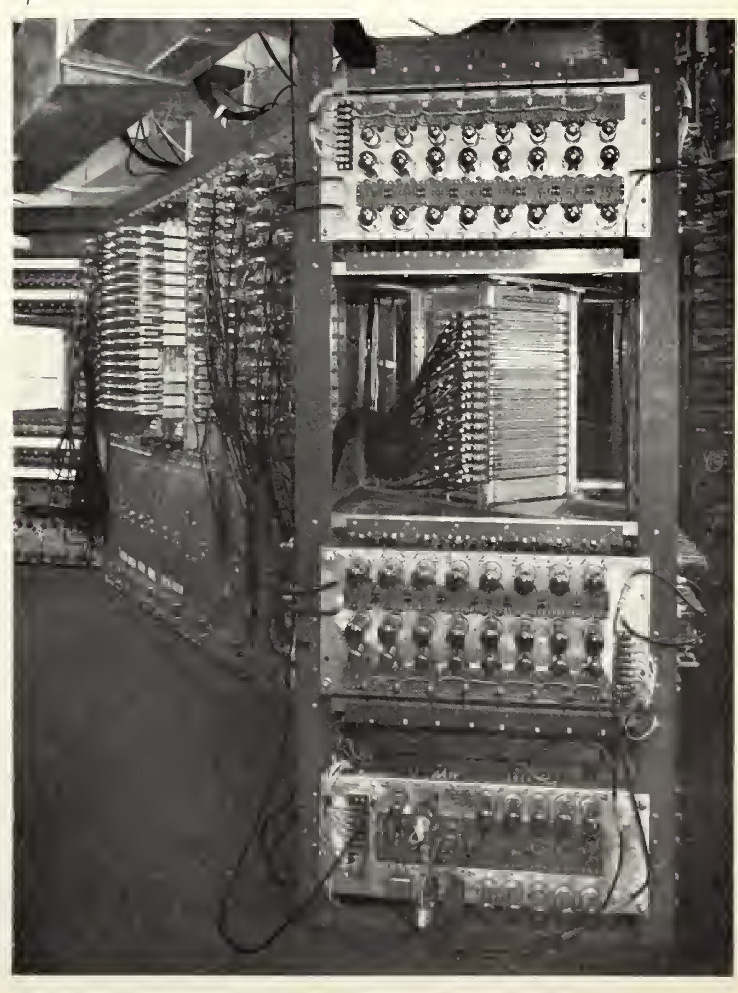


Abb. 37/6.1 *IBM 305 RAMAC*

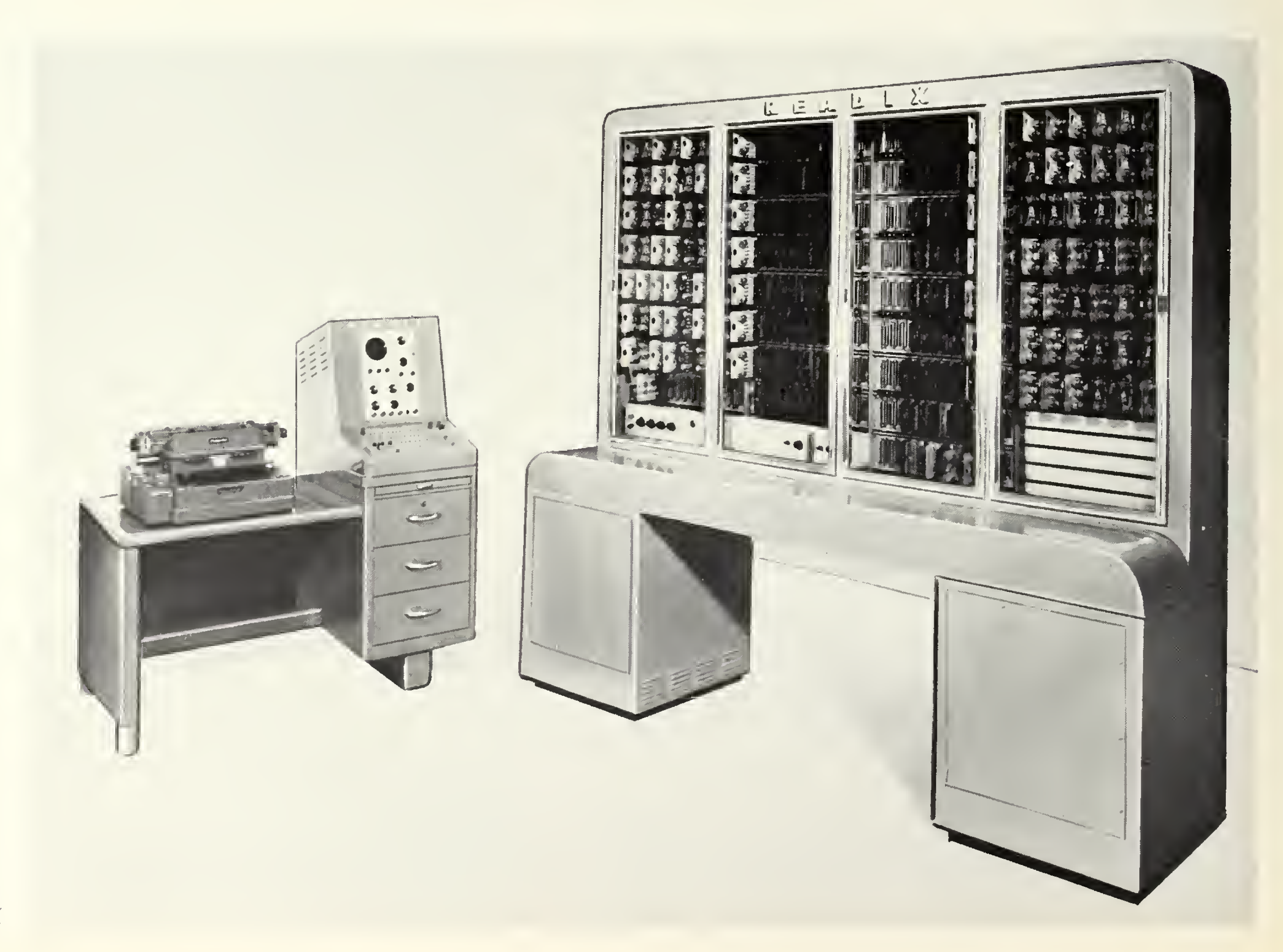


Abb. 38/6.1
General Purpose Computer READIX

IBM 305 – RAMAC (Random Access Memory Accounting Computer)

gebaut von:	*IBM Corporation*
erste Auslieferung:	*1957, Monatsmiete ca. 3200 $*
Code:	*dezimal, Serienmaschine*
Wortlänge:	*10 Dezimalstellen*
Speicher:	*Magnetplatten (5 Millionen oder 10 Millionen Speicherplätze) (Abb. 46/8.3.5.4)* *Magnettrommel (2900 Speicherplätze)* *Ferritkernspeicher (100 Speicherplätze)*
Taktfrequenz:	*85 kHz (33 Add/s)*
Bauelemente:	*3500 Röhren, 1250 Relais*

Der Magnetplattenspeicher sicherte wegen des wahlfreien und relativ schnellen Zugriffs zu einer großen Speicherkapazität dem Typ 305 eine weite Anwendung.

ERMA Electronic Recording Machine Accounting System die erste spezielle Bank-Buchungsanlage wurde ab 1951 vom Stanford Research Labs entwickelt und im Juni 1956 in San José zur Führung von 38 000 (beim zweiten Modell 50 000) Konten eingesetzt. Die Schecks wurden mit magnetisch lesbarem Strichcode bedruckt, maschinell sortiert und in Magnettrommelspeichern verbucht. ERMA enthielt 42 000 Röhren.

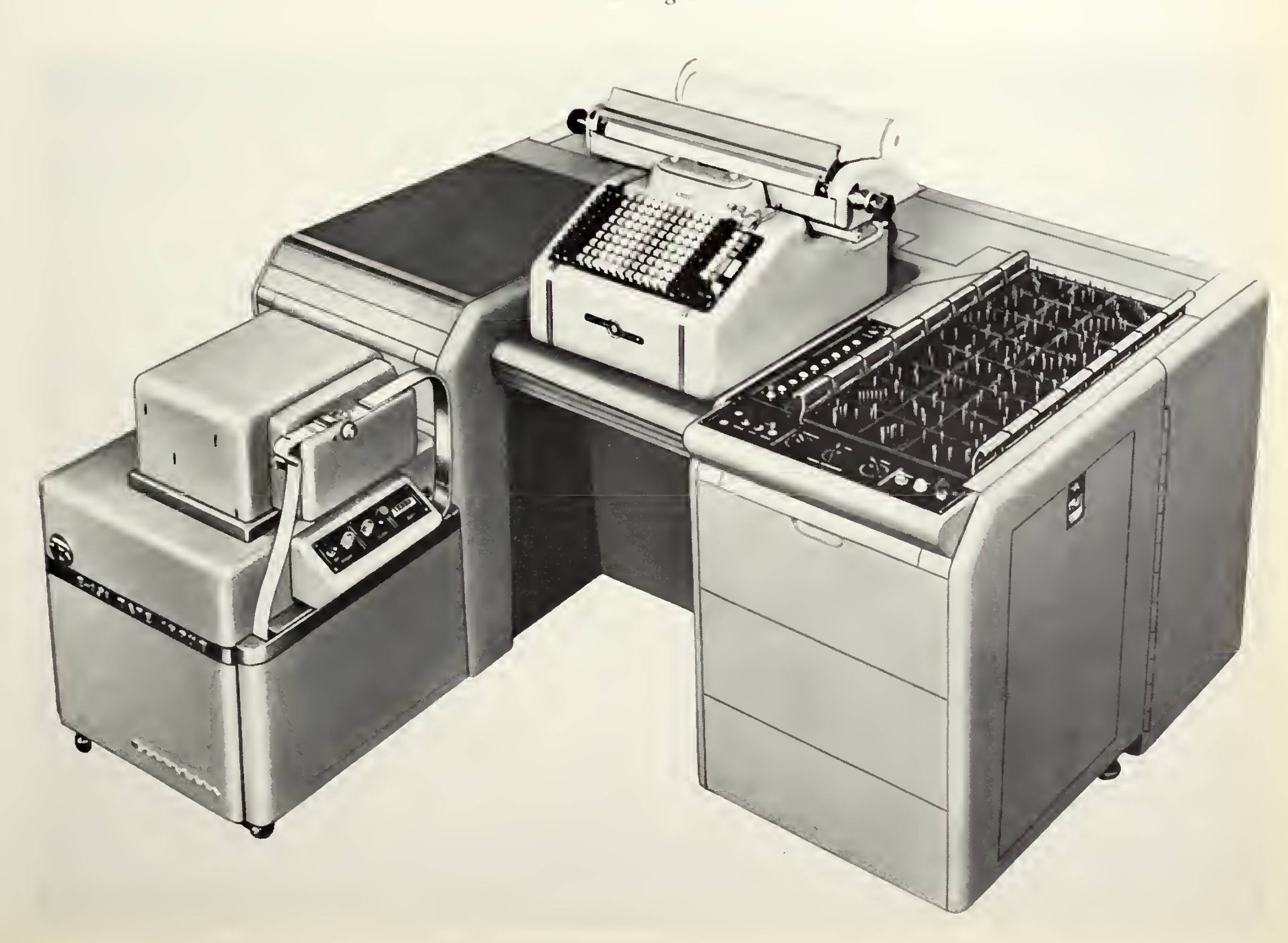
READIX

gebaut von:	*J. B. Rea Company, Inc*
erste Auslieferung:	*1956*
Code:	*dual-dezimal, Serienrechner*
Wortlänge:	*10 Dezimalstellen*
Speicher:	*Magnettrommel (4000 Speicherplätze)*
Taktfrequenz:	*100 kHz (196 Add/s)*
Bauelemente:	*260 Röhren, 3040 Dioden*

E 101

gebaut von:	*Burroughs Corporation, Electro Data Division*
erste Auslieferung:	*1955, Preislage um 27 000 $*
Code:	*dual-dezimal Serienmaschine*
Wortlänge:	*12 Dezimalstellen*
Speicher:	*Magnettrommel (220 Speicherplätze)*
Programmierung	*durch steckbare Programmtafel (Abb. 10/9.3)*
Leistung:	*20 Add/s*

Abb. 39/6.1
Burroughs Tisch-Elektronenrechner E 101





LGP 30

gebaut von:	*General Precision Inc., Librascope Division. In Deutschland in Lizenz gebaut von Schoppe und Faeser GmbH, Minden (die vorher durch den Bau großer mechanischer Integrieranlagen hervorgetreten war)*
erste Auslieferung:	*1956, Monatsmiete ca. 5500 DM*
Code:	*dual, Serienmaschine*
Wortlänge:	*32 Bits, Festkomma*
Speicher:	*Magnettrommel (4096 Speicherplätze) (siehe Abb. 35/8.3.5.2)*
Taktfrequenz:	*137 kHz (500 Add/s)*
Bauelemente:	*110 Miniatur-Röhren, 1350 Dioden*

Kleinrechner für wissenschaftliche und Ingenieuraufgaben, durch nur 16 Befehle leicht zu bedienen und bis Ende 1966 in ca. 300 Exemplaren in Betrieb (s. auch Abb. 47/7.3).

Abb. 40/6.1
Librascope General Purpose Computer LGP 30

Abb. 41/6.1
LGP 30 Vorderansicht des geöffneten Klein-Rechners

IBM 702, 704, 705

gebaut von:	*IBM Corporation*
erste Auslieferung:	*1955*
Code:	*dual-dezimal, Parallelmaschine*
Wortlänge:	*variabel*
Speicher:	*Ferritkernspeicher (20 000 Speicherplätze)* *Magnettrommel (Anschluß möglich)* *Magnetbandgeräte*

Die Typen 701 und später 704 sind für wissenschaftliche Anwendungen ausgerüstet, d. h. sie rechnen intern dual und haben eine geringe Anzahl von peripheren Geräten; die Typen 702 und später 705 für kommerzielle Anwendungen rechnen intern dezimal und haben eine große Zahl von peripheren Geräten.

Die Firma IBM hatte nach ersten Versuchen und Erfolgen die weitere Entwicklung etwas zögernd, aber dann mit bewußter Ausrichtung auf die Bedürfnisse der kommerziellen Interessenten weitergeführt und vor allem ihren an den Lochkartenmaschinen geschulten Kundendienstapparat zur Unterrichtung, Programmier-Unterstützung und Service eingesetzt, so daß ihre Computer spät, aber dann schnell eine überragende Marktposition erringen konnten.



Abb 42/6.1
Electronic Data Processing Machine IBM 702, 704, 705



Abb. 43/6.1
IBM 702, 704, 705: Steuerpult



Abb. 44/6.1
IBM 702, 704, 705: Magnettrommeleinheit mit Netzgerät



Abb. 45/6.1
IBM 702, 704, 705: Kartenabfühleinheit



Abb. 46/6.1
IBM 705 NORC

Abb. 47/6.1
IBM 705 Installation bei KLM in den Haag (seit 9. 11. 59)

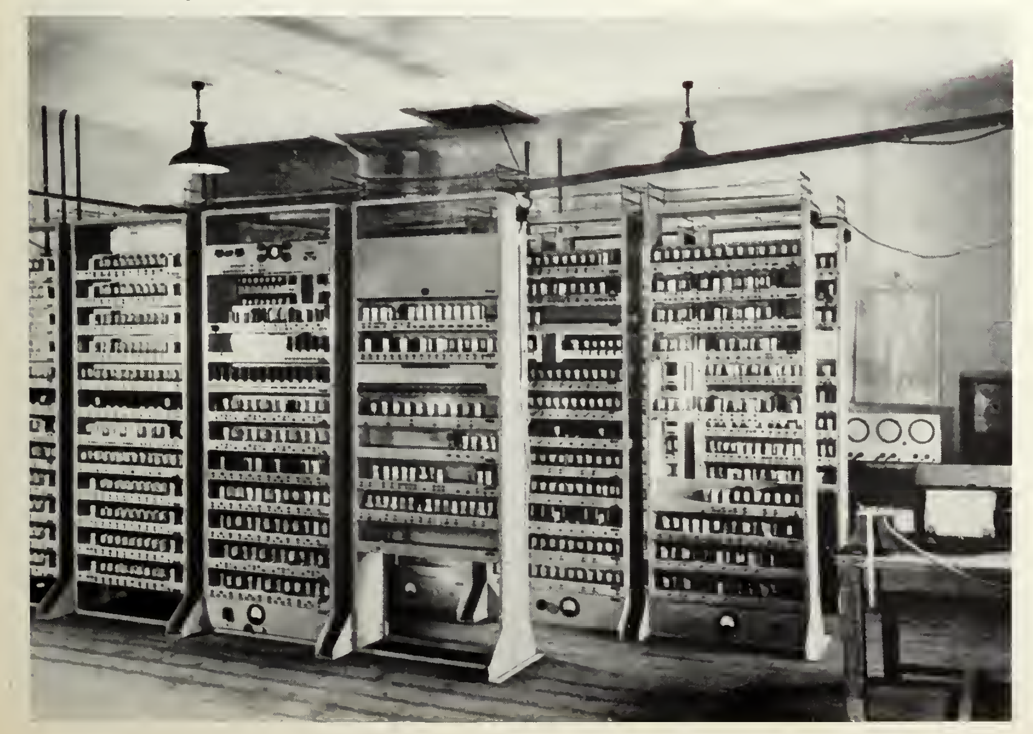


In England begannen die Arbeiten an elektronischen Rechenanlagen mit theoretischen Überlegungen und praktischen Demonstrationen von W. *Phillips* mit binären und oktalen Zahlen, photoelektrischer Impulsgabe und Zählschaltungen mit Zehnerübertragung (um 1925—1931). 1931 veröffentlichte C. E. *Wynn-Williams* eine Thyratron-Zählschaltung, wonach Phillips 1934 den Grundgedanken eines elektronischen Rechenautomaten entwarf, der im November 1935 dem Institute of Actuaries vorgetragen wurde (Phillips, siehe 5.3 Lit. [6]). Ebenfalls 1936 veröffentlichte A. M. *Turing* seine grundlegenden Gedanken über „Computable Numbers".

1937 begann John R. *Womersley*, ab 1938 von G. L. *Norfolk* unterstützt, an der Konzeption eines dezimalen Relaisrechners. Da jedoch in den USA inzwischen der ENIAC (siehe Abb. 1—4/6.1) bereits halb fertiggestellt war, wurde im August 1945 von Womersley mit Turing und *Colebrook* nach Phillips' Vorschlägen die Entwicklung eines binären schnellen seriellen elektronischen Rechenautomaten mit 1 MHz Grundfrequenz und Quecksilber-Verzögerungsspeicher, die *„Automatic Calculating Engine"* ACE der Mathematics Div. of the National Physical Laboratory, begonnen; sie wurde 1950 fertiggestellt. Diese Anlage enthielt nur 1000 Röhren (gegenüber 3000 beim EDVAC), erreichte 32 μs Operationszeit an 32-stelligen Dualzahlen und hatte eine für die damalige Zeit (1952) unerreichte Zuverlässigkeit. Sie war eigentlich nur als Prototyp entwickelt, industriell wurde daraus die DEUCE der English Electric Co. (Abb. 50/6.2). Die Befehle enthielten außer dem Operationszeichen und der Adresse des jeweiligen Zahlenspeichers noch die Adresse des nächsten Befehls und erlaubten somit zeitbegünstigtes Programmieren, was sich bei Laufzeit-Speichern wesentlich auswirkt.

Die inzwischen bekannt gewordenen Forderungen John von Neumanns wurden durch die Entwicklung von Röhrenrechnern in Anlehnung an die Konzeption des EDVAC aufgegriffen; unter Leitung von M. V. *Wilkes* stellte das Mathematical Laboratory der Universität Manchester bis 1949 (also früher als das Vorbild) den *„Electronic Delay Storage Automatic Computer"* EDSAC (Abb. 48/6.2) fertig. Diese Anlage verwendete Quecksilber-Verzögerungsstrecken als Speicher für 512 Wörter zu je 34 Bits. Damit wurden Operationszeiten von 70 μs bzw. 34 μs für halblange Wörter erreicht. Sie war die erste Anlage, welche die von Neumannsche Forderung erfüllte, daß Daten und Programme im gleichen schnellen internen Speicher enthalten sein sollten.

Abb. 48/6.2
Electronic Delay Storage Automatic Computer EDSAC



gebaut von:	*M. V. Wilkes und W. Renwick am Mathematical Laboratory, University of Cambridge, England*
Baubeginn:	*1946*
Fertigstellung:	*1949*
Code:	*dual, Serienrechner*
Wortlänge:	*34 Bits*
Speicher:	*Quecksilber-Verzögerungsleitungen, 1024 Speicherplätze*
Taktfrequenz:	*500 kHz*
Bauelemente:	*4500 Röhren*

Von dieser Maschine wurde 1949 eine Industrieversion gebaut.

Literatur:

M. V. Wilkes: Design of a Practical High-Speed Computing Machine. Proc. Royal Sec. Vol. 195 (1948).
M. V. Wilkes: The EDSAC. MTAC IV (1950) S. 61.



Abb. 49 u. 49 a/6.2 *Manchester University Computer Mark I*





Abb. 50/6.2
Der Röhrenrechner „DEUCE" der English Electric Co. (Digital Electronic Universal Computing Engine)

Manchester University Computer Mark I

gebaut von:	*Prof. F. C. Williams und T. Kilburn, Electrical Engineering Laboratories, University of Manchester, in Zusammenarbeit mit Ferranti Ltd., Moston, Manchester.*
Baubeginn:	*1. Prototyp der Universität Manchester 1947* *zwei vergrößerte Typen 1948* *Mark I unter Beteiligung von Ferranti 1949* *(hiernach baut Ferranti den ersten kommerziell erhältlichen englischen Rechner „PEGASUS", siehe Abb. 53/6.2)*
Fertigstellung:	*1951*
Code:	*dual, Serienmaschine*
Wortlänge:	*40 Bits*
Speicher:	*Williams-Speicherröhren: 256 Speicherplätze* *Magnettrommel: 16 384 Speicherplätze*
Taktfrequenz:	*100 kHz*
Bauelemente:	*3800 Röhren*
Literatur:	*B. W. Pollard: The Design, Construction and Performance of a Large-Scale General-Purpose Digital Computer.* *F. C. Williams, T. Kilburn: The University of Manchester Computing Machine.* *Beide Veröffentlichungen in Joint AIEE-IRE Comp. Conf. Philadelphia Dez. 1951.*

DEUCE Digital Electronic Universal Computing Engine

gebaut von:	*English Electric Co. (Nelson Research Laboratories) auf der Grundlage des ACE-Computers des National Physical Laboratory*
Code:	*dual, Serienmaschine*
Wortlänge:	*32 Bits*
Speicher:	*12 Quecksilber-Verzögerungsstrecken von 1,5 m Länge, 1 ms Laufzeit, je 32 Wörter; 2 kürzere für je 4 Wörter, 3 für je 2 und 4 für je 1 Wort. Magnettrommelspeicher mit 256 Spuren für je 32 Wörter, mit je 16 über 16 Spuren verschieblichen Lese- und Schreibköpfen (siehe Abb. 37/8.3.5.2).*
Ein-/Ausgabe:	*Lochkarten (200 Karten/min Lesen, 100 Karten/min Stanzen), zwei Kathodenstrahl-Anzeigeröhren auf dem Steuerpult*
Anschlußleistung:	*9 kVA*
Programmierung:	*Zweiadreß-Befehle; Unterprogramm-Bibliothek der ACE-Anlage ist verwendbar.*

1947 begannen Andrew D. *Booth* und Kathleen H. V. *Britten* beim Electronic Computation Lab. vom Birkbeck College der Universität London eine erste Versuchs-Konstruktion mit Magnettrommelspeicher, den *Simple Electronic Computer* SEC. Eine sehr sorgfältige Logik erlaubte, mit 230 Röhren auszukommen. 256 Speicherwörter von 21 Dualstellen, Additionstakt von 1,6 ms und Zweiadreß-Befehle zeichneten dieses Muster aus. Es war gewissermaßen ein Spiegelbild der G 1.

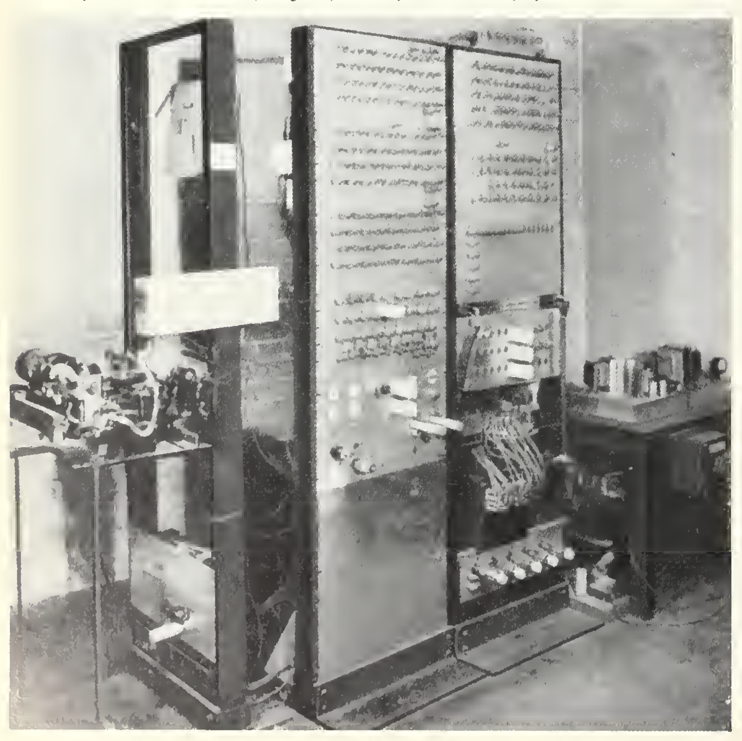
Nach diesem SEC wurden mehrere *All Purpose Electronic Computers* gebaut:

APE (X) C	für das Birkbeck College (X-Ray-Computer),
APE (N) C	für Oslo/Norwegen (wohin ein Trommelspeicher-Chassis für 2000 £ verkauft worden war),
APE (H) C	für British Tabulating Machine Co. (Hollerith),
APE (R) C	für British Rayon Research Association (Abb. 51/6.2).

Die beiden ersten hatten 1024 Speicherwörter von 32 Bits und 420 Röhren, erreichten 0,6 ms Additions- und 20 ms Multiplikationstakt. (R) und (N) hatten Fernschreibgeräte als Ein/Ausgabe, (X) und (H) Lochkarten-Anschluß. Die British Tabulating Machine Co. baute auf dieser Grundlage weiter.

Das Birkbeck College arbeitete anschließend an der Entwicklung des Magnetkernspeichers (siehe 8.3.6).

Abb. 51/6.2
All Purpose Electronic (Rayon) Computer APE(R)C



APE(R)C All Purpose Electronic (Rayon) Computer

gebaut von:	*Prof. A. D. Booth, Birkbeck College, University of London*
Baubeginn:	*1949*
Fertigstellung:	*1951*
Code:	*dual, Serienmaschine, Einadreß-Befehle*
Wortlänge:	*32 Bits*
Speicher:	*Magnettrommel, 512 Speicherplätze (zuerst mit Nickel als magnetisierbarer Schicht)*
Taktfrequenz:	*30 kHz*
Bauelemente:	*420 Röhren, 30 Relais.*

Literatur: *A. D. Booth: The Physical Realization of an Electronical Digital Computer. Electronic Engng. 24 (1952), S. 442–445. A. D. Booth: The Development of APE(X)C. MTAC 8 (1954), S. 98–105.*

Lyons Electronic Office LEO

gebaut von: *Dr. J. M. Pinkerton, J. Lyons & Co. Ltd.*

Baubeginn: *1949*

Fertigstellung: *1951*

Diese Maschine ist ein industrieller Nachbau der EDSAC von Wilkes in Cambridge. Es ist der erste Einsatz einer Rechenanlage zur Organisation einer Großfirma.

Literatur: *J. M. Pinkerton, E. J. Kaye, E. H. Lenaerts, G. R. Gibbs: LEO (Lyons Electronic Office). Electronic Engng. 26 (1954) No. 317, S. 284–291; No. 318, S. 335–341; No. 319, S. 386–392.*



Abb. 52/6.2 a u. b
Lyons Electronic Office LEO



Eine zweite Entwicklungsreihe entstand aus den im Kriege gewonnenen Erfahrungen mit der Impuls- und Radartechnik. Das Telecommunications Research Establishment in Malvern begann 1946, Kathodenstrahlspeicher nach den Gedanken von F. C. *Williams* für die Rechentechnik zu entwickeln. Aus dieser Gruppe wurde 1947 das Electrical Engineering Dept. der Universität Manchester; sie baute 1948 eine kleine Versuchsanlage mit der Williams-Röhre (siehe 8.3.4) als Speicher und „B"-Linie (Indexregister) nach dem Vorschlag von T. *Kilburn*. Hieran erwachte das Interesse der Fa. Ferranti Ltd., die weiterhin die Entwicklung übernahm. In Manchester begann man 1949 nach Vorbereitungen (Nov. 1948 bis Sommer 1949) und nach dem Bau eines speziellen Versuchsgerätes NIMROD (zum Demonstrieren der logischen Fähigkeiten mit dem Brettspiel NIM) die Konstruktion eines Magnettrommelrechners Mark I. Er wurde am 27. 7. 1952 bei der Universität installiert und unter dem Namen MADAM bekannt. Neben 8 Williams-Speicherröhren (eine davon für 8 Index-Register) erhielt er einen Trommelspeicher und Lochstreifengeräte. Er war bis September 1958 in Betrieb. Ein zweiter Rechner dieses Typs wurde 1959 an die Universität Toronto geliefert und bekam den Namen FERUT. Die National Research Development Corp. baute weiterhin das vervollkommnete Modell *Mark I* in 7 Stück; dies war der erste kommerziell erhältliche Computer. Dieses Modell ist gekennzeichnet durch 512 Kathodenstrahlspeicherröhren für 10 000 Bits, davon waren 7 als Indexregister verwendet. Ein Magnettrommelspeicher faßte 16 384 Wörter zu 12 Dezimalstellen bzw. 40 Dualstellen als Wortlänge. Es erreichte bei 100 kHz Rechentakt eine Leistung von 800 Befehlsoperationen/Sekunde bzw. einen Takt von 1,2 ms für die Addition und 2,2 ms für die Multiplikation. Zur Ein/Ausgabe dienten Lochstreifengeräte. Eine Weiterentwicklung zum Modell II hatte Magnetkernspeicher und wurde von der Fa. Ferranti als *Mercury* ab Januar 1957 in 20 Exemplaren ausgeliefert (Abb. 54/6.2).

Ferranti hatte, wie erwähnt, zuerst den Entwicklungen der Universität beigestanden, hatte jedoch ab November 1953 nach Patenten der NRD Corp. eine eigene Konstruktion begonnen, die als erste nach dem Baustein-System aufgebaut war: der *Ferranti Packaged Computer 1*, „FPC 1", der als „*Pegasus*" (Abb. 53/6.2) ab 1956 ausgeliefert wurde. Er enthielt 460 in nur 17 Typen standardisierte Steckeinheiten. Als Speicher dienten 55 Nickel-Verzögerungsstrecken, davon 7 als Rechenregister und „B-Register", 32 weitere zu Addition und Subtraktion, der Rest als Ein/Ausgabespeicher, ferner eine Magnettrommel als Hauptspeicher, 4096—8192 Wörter zu 39 Bits fassend und mit 16 ms maximaler Zugriffszeit.

Auch hier dienten wieder Lochstreifengeräte zur Ein/Ausgabe; ein lichtelektrischer Leser für 200 Zch/s wurde entwickelt und ist noch heute vielfach auch bei anderen Rechenanlagen in Gebrauch. Der Pegasus erreichte eine Leistung von 1000 Dreiadreß-Befehlen/Sekunde und damit Operationszeiten von 0,3 ms für Addition, 2 ms für Multiplikation und 5 ms für Division. Als Code wurde ein auf ungerade Bitzahl ergänzter, also selbstprüfender Dualcode für Dezimalziffern in 5 Spuren eingesetzt. Von dieser erfolgreichen Anlage wurden 30 Stück verkauft; eine umfangreiche Unterprogramm-Bibliothek entstand und trug viel zu den günstigen Erfahrungen mit diesem ersten in Serie gebauten Rechner bei.

1955 wurde der *Pegasus* zum Modell II fortentwickelt und mit Lochkarten-Lesern und -Stanzern ausgerüstet. Er erhielt ferner einen Schnelldrucker, der mit einem oszillierenden impulsgesteuerten Stift je Druckstelle alle Zeichen einer Zeile gleichzeitig aus Punkten zusammengesetzt ausdruckt. Die Magnettrommel erhielt 128 Schnell-Zugriffs-Wörter auf besonderen, dauernd repetierend erneuerten Spuren. Die erste Anlage dieser Art wurde 1959 ausgeliefert, bis 1963 waren 35 geliefert.

Der letzte Ferranti-Rechner in Röhrenbauweise ist der 1959 entstandene *Perseus* (Abb. 55/6.2) mit 1024 Speicherwörtern zu 72 Bits in Nickel-Verzögerungsstrecken. Er erlaubte, 16 Magnetbandgeräte anzuschließen und einen Zeilendrucker für 5 Z/s; er arbeitete wahlweise im Dual- oder Dezimalsystem. Zwei Stück wurden an Versicherungsgesellschaften in Schweden und Südafrika verkauft.

Von da ab wurden nur noch Transistor-Schaltkreise verwendet, worüber in Abschnitt 8.1.3.3 berichtet wird.

Nach Patenten der NRD Corp. und eigenen Entwicklungen baute auch die Fa. *Elliot* Magnettrommel-Rechner mit Nickel-Verzögerungsspeichern: Type *401, 402, 403, 404 und 405*, wovon die letztere bereits mit Magnetbändern (Filmen), Schnelldrucker usw. ausgerüstet war.

Elliott 402 der Computing Machine Division der Elliott Brothers (London) Ltd., nach Lizenz der NRD Corp. gebaut.

Arbeitsweise: *dual, 34 Bits/Wort, Zweiadreß-Befehle. Bemerkenswert: Verwendung von Unterprogrammen.*

Eingabe durch 5-Spur-Lochstreifen über lichtelektrisches Lesegerät und durch Tastatur.

Ausgabe über Schreibmaschine, Streifenlocher und zwei Kathodenstrahl- Anzeigeröhren für je ein Wort.

Speicher: *15 Wörter in Nickel-Verzögerungsstrecken, davon 7 als Adreßregister verwendbar. Magnettrommel für 2944 Wörter mit 6,5 ms mittlerer Zugriffszeit (s. Abb. 99/8.3.5.2).*

Leistung: *Taktzeit 102 µs je Wort, Addition und Subtraktion in 204 µs, Multiplikation und Division in 3,3 ms.*

Aufbau: *223 Steckeinheiten mit je 2 Röhren, insgesamt 615 Röhren*

Stromverbrauch: *8 kVA*

Von den Modellen Elliott 401, 402, 403 und 405 wurden etwa 45 Exemplare gebaut.

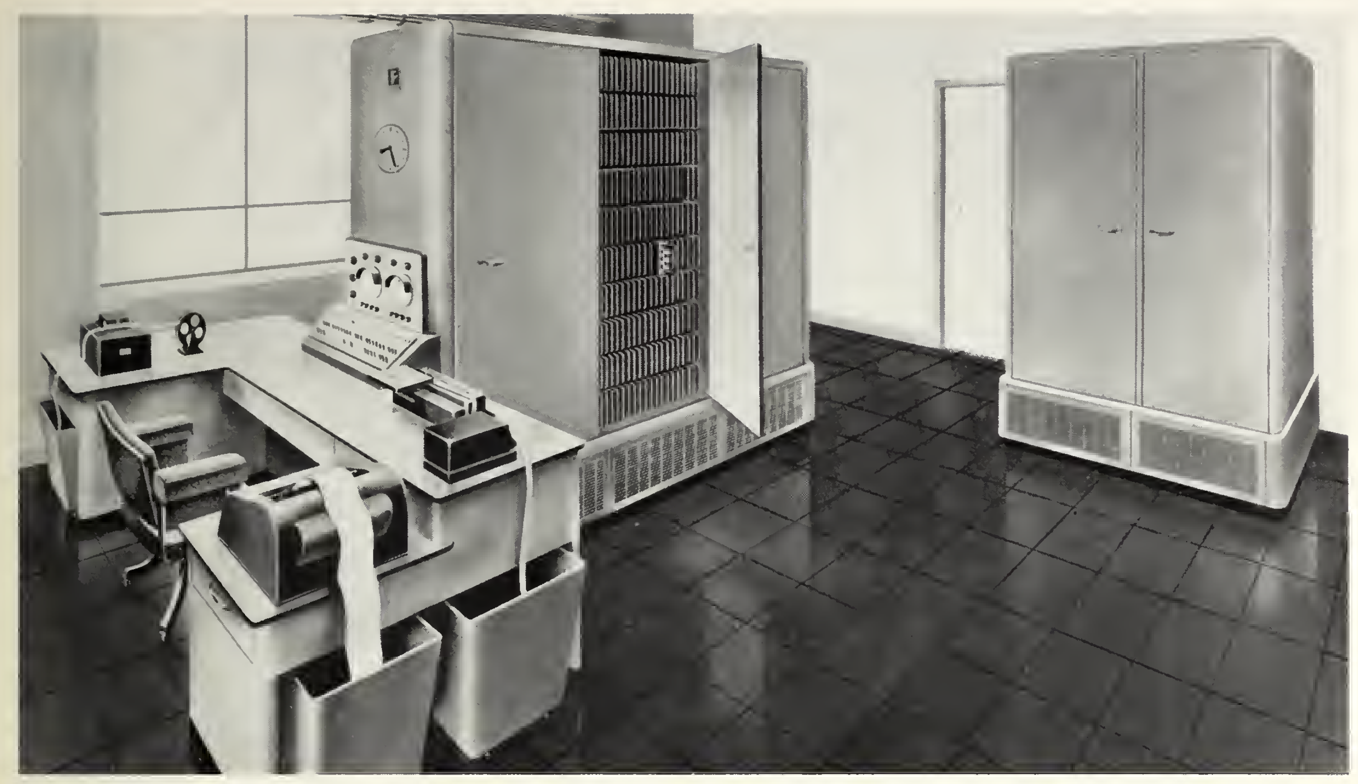


Abb. 53/6.2
Ferranti-Pegasus-Computer



Ferranti-Pegasus-Computer

gebaut von:	*Ferranti Ltd. Manchester*
Baubeginn:	*1953*
erste Auslieferung:	*1956*
Code:	*dual, Serienmaschine*
Wortlänge:	*39 Bits*
Speicher:	*Nickel-Verzögerungsleitungen: 55 Speicherplätze, Magnettrommel: 5120 Speicherplätze*
Taktfrequenz:	*330 kHz (3175 Add/s)*
Bauelemente:	*1300 Röhren.*
Literatur:	*Pegasus – a new computer. Electronic Engng. (1955), S. 131.*

Abb. 54/6.2
Ferranti-Mercury-Computer

gebaut von:	*Ferranti Ltd. Manchester*
erste Auslieferung:	*1957, Preislage ca. 400 000 $*
Code:	*dual, Serienbetrieb für Operationen, Parallelbetrieb für Speicherung*
Wortlänge:	*40 Bits*
Speicher:	*Kernspeicher: 1 024 Speicherplätze* *4 Magnettrommeln: 16 384 Speicherplätze*
Taktfrequenz:	*1 MHz (16 665 Add/s)*



Abb. 55/6.2
Ferranti-Perseus-Computer

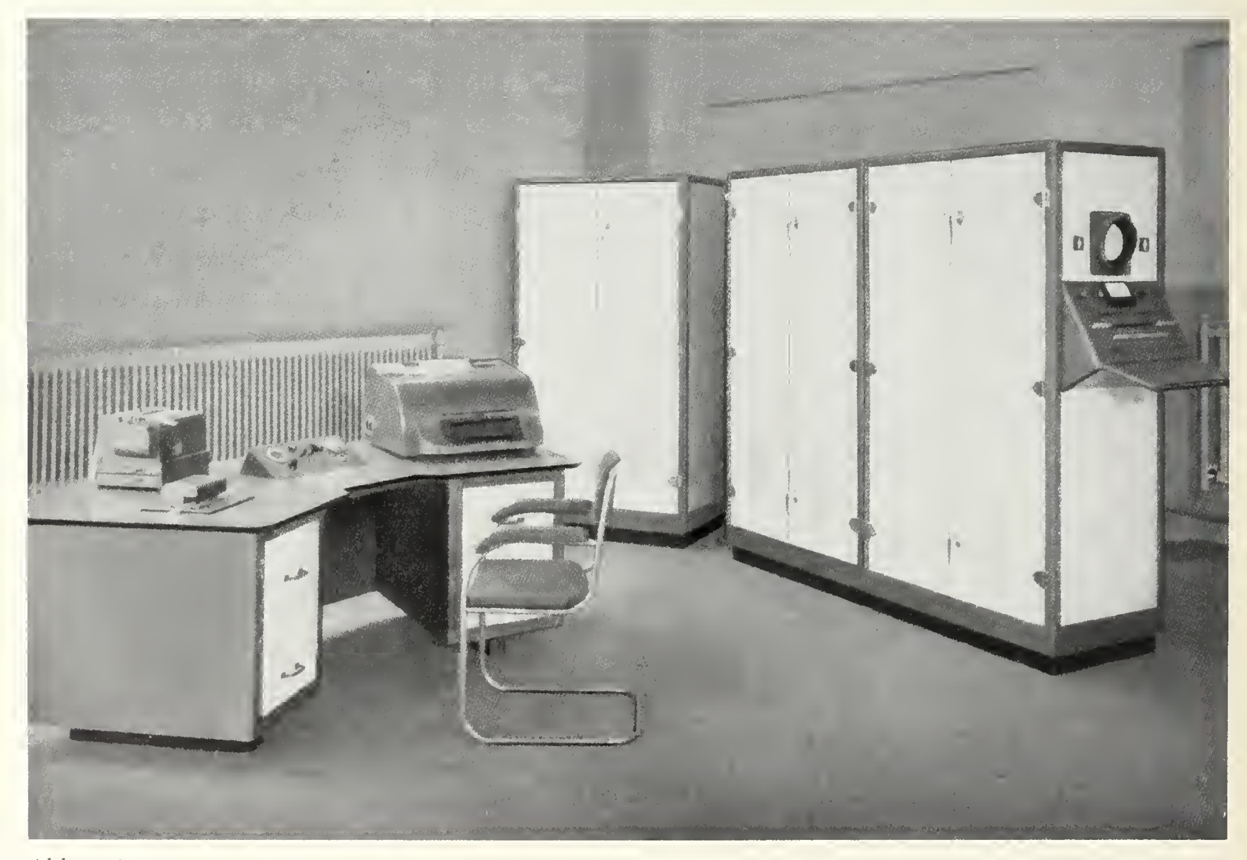


Abb. 56/6.2
Stantec – ZEBRA der Standard Telephones and Cables Ltd., London

Ferranti-Perseus-Computer

gebaut von:	*Ferranti Ltd. Manchester*
erste Auslieferung:	*1959*
Code:	*dual, Serienmaschine*
Wortlänge:	*72 Bits*
Speicher:	*Nickel-Verzögerungsstrecken, 1024 Speicherplätze*
Taktfrequenz:	*330 kHz (4273 Add/s)*

Stantec-ZEBRA der Standard Telephones and Cables Ltd., London
Magnettrommel-Universalrechner mittlerer Größe

Dieser kleine Magnettrommel-Rechner wurde von Prof. van der Poel entworfen; die Konzeption wurde an STC zur Herstellung in Lizenz verkauft. Er zeichnet sich aus durch äußerst durchdachte logische Fähigkeiten (durch Mikroprogrammierung, d. h. jedes Bit im Befehlswort hat seine eigene Bedeutung und ist beliebig mit anderen kombinierbar) und erreicht somit gute Leistungen bei kleinstem Schaltaufwand.

gebaut von:	*Standard Telephones & Cables Ltd., London nach dem Entwurf von Prof. van der Poel (PTT Holland)*
erste Auslieferung:	*bis 1963 wurden rd. 48 Stück hergestellt, davon 2 in Deutschland aufgebaut.*
Arbeitsweise:	*in Serie, intern dual*
Wortlänge:	*32 Bits + Vorzeichen, 15 Bits Operation, 5 Bits Adresse Schnellspeicher und 13 Bits Hauptspeicheradresse*
Speicher:	*Hauptspeicher: Magnettrommel (6 Zoll ⌀, 15 Zoll lang, 6000 U/min) mit 256 Spuren zu 32 Wörter = 8192 Wörter zu je 33 Stellen, 5 ms Zugriffszeit* *2 Register als Rechenwerks-Akkumulatoren und 15 dynamische Schnellspeicher, beide als Trommelspuren 5 ms Zugriffszeit*
Bauweise:	*Röhren und Transistoren in Steckeinheiten (verdrahtet) auf gedruckter Schaltungsplatte.*
Leistung:	*Addition 0,312 ms, Multiplikation 11 ms, Division 35 ms.*
Ein-/Ausgabe:	*Lochstreifen-Leser 200 Zch/s (auch 800 Zch/s)* *Lochstreifen-Locher 50 Zch/s (auch 300 Zch/s)* *Blattschreiber 10 Zch/s* *Mosaik-Einzelzeichendrucker 100 Zch/s* *Registerinhalt-Anzeige durch Kathodenstrahlröhren.*

Neuerdings ist die ZEBRA modernisiert in Transistorbauweise, erhielt zusätzlich einen Ferritmatrixspeicher für bis zu 8192 Wörter, kann mit Xeronic-Schnelldrucker und Magnetbandgeräten mehrerer Arten ausgerüstet werden (Kassettengerät für 100 m loses Band, Zehnfachgerät für 10 solcher losen Bandkassetten, Spulengerät für 732 oder 1098 m Länge).

Stromverbrauch: 2,5 kVA

Raumbedarf:	*1 Schrank für Rechner + Netzteil: 200 × 61 cm* *1 Kommandopult: 335 × 152 cm*

Zuses Mitarbeiter H. *Schreyer* hatte, wie auch in 5.4.4 und 8.1.3.2 erwähnt, bereits Versuche mit Rechenschaltungen aus Röhren-Bausteinen unternommen und damit promoviert, und bereits 1940 einen Prototyp gebaut. Leider mußten diese Versuche abgebrochen werden, da die damaligen Regierungsstellen den Vorschlag zur Lieferung eines Rechenautomaten, der mit 1500 Röhren und 1 ms Rechentakt mehr geleistet hätte als der spätere ENIAC, uninteressiert ablehnten. Erst als die ersten Nachrichten von diesem für die Berechnung von Flugbahnen äußerst wertvollen Rechenautomaten durchsickerten, wurde man — zu spät — aufmerksam und erlaubte (siehe 4.3) die Entwicklung einer Zusammenschaltung von Lochkartenmaschinen und Lochstreifengeräten als schnellstem Weg zu einem programmgesteuerten Rechenautomaten (siehe Abb. 13/4.3), der von Prof. A. *Walther* des Instituts für Praktische Mathematik der Technischen Hochschule Darmstadt geplant worden war, aber nicht über erste Versuchsarbeiten hinaus realisiert werden konnte.

Daher wurde erstes in Deutschland gebautes und in Betrieb genommenes Rechenwerk mit Röhrenelektronik ein erst 1949 von Dr. *Sprick* in Flensburg für die Landesbrandkasse Schleswig-Holstein (H. *Schmidt*) gebautes Zusatz-Multiplizierwerk (Abb. 57/6.3) zu einer Powers-Tabelliermaschine.

Inzwischen waren die Berichte über die Rechenanlagen amerikanischer Entwicklungen allgemein bekannt geworden und hatten zum eigenen Studium der Probleme angeregt; es erschien klar, daß unter den ganz anderen Verhältnissen hier auch andere Lösungswege beschritten werden mußten: *Zuse* hatte die Vorteile einer ausgefeilten logischen Konzeption gezeigt; serielles Rechnen erlaubte kleineren Aufwand an Schaltelementen, und zweckmäßigere Speichertechnik mußte gefunden werden.

1947—48 entwarf Dr. *Billing* in Göttingen — unabhängig von *Booth* in England und von amerikanischen Versuchen bei der Harvard-Universität — den Magnettrommelspeicher; 1950 konzipierten er und Prof. *Biermann* vom Max-Planck-Institut in Göttingen einen Magnettrommelrechner *G 2* mit etwa 110 Röhren (Abb. 59/6.3) und bauten zur Erprobung des Prinzips zwischendurch einen kleineren Rechner *G 1* (Abb. 58/6.3) (fertig 1952). Prof. *Walther* in Darmstadt griff die unterbrochene Entwicklung 1948 wieder auf und begann 1950 mit der Entwicklung eines Elektronenrechners *DERA* (Abb. 60/6.3) in dezimal-binärem Code mit seriellem Ablauf, ebenfalls mit Magnettrommelspeicher. An der Technischen Hochschule München wurde von Prof. *Piloty* 1952 eine duale Parallelmaschine *PERM* (Abb. 61/6.3) entworfen. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft unterstützte diese drei Stellen, die sich jeweils einem anderen Rechenmodus verschrieben hatten, um diese vergleichen zu können. Auf diese Weise wurden schon früh Erfahrungen gesammelt und wissenschaftliche Konstrukteure herangezogen, welche nach einigen Jahren der dann mit der Entwicklung beginnenden deutschen Industrie zur Verfügung standen. In Göttingen baute man nach der Fertigstellung der Serienrechner erst ein Muster *G 1a* (Abb. 63/6.3) für einen schnellen Parallelrechner *G 3* (Abb. 64/6.3), der 1955 begonnen wurde. Ebenso wurde an der Technischen Universität Dresden von Prof. *Lehmann* eine duale Serienmaschine *D 1* kleinen Aufwandes gebaut (Abb. 62/6.3), bei der überdies zur Einsparung von Auswahlelektronik und Köpfen die Magnetköpfe des Trommelspeichers längs einer Mantellinie verschiebbar angeordnet waren. Ebenfalls 1955 wurde an der Technischen Universität Berlin (Prof. Haack) von F. R. *Güntsch* ein kleiner dualer Serienrechner entwickelt, dessen lineares Programm und dessen Takt zur Steuerung der Maschine von einem einspurigen Magnetband abgelesen wurden (Abb. 65/6.3).

Die Firma Zuse KG, inzwischen aus schwierigen Nachkriegs-Verhältnissen neu gegründet und mit den ausgefeilten und zuverlässigen Relaisrechnern *Z 5* und *Z 11* nicht ohne Erfolg, wandte sich der seinerzeit bereits bearbeiteten Röhrentechnik zu und baute ab 1956 einen Magnettrommelrechner *Z 22* als Serienmaschine, selbstverständlich nach wie vor in rein dualen Zahlen rechnend (Abb. 66/6.3). Die Dresdner Versuchsanlage *D 1* wurde zu einem zweiten Modell *D 2* (Abb. 68/6.3) fortentwickelt, bei Carl Zeiss in Jena wurde ab 1958 ebenfalls ein dualer Magnettrommelrechner *ZRA 1* (Abb. 69/6.3) von W. *Kämmerer* noch in Röhrentechnik begonnen.

Auch die beiden Rechenwerke der Buchungsmaschinen Siemag-*Dataquick* (Abb. 71/6.3) und der Technischen Universität Dresden (VEB *Ascota*) (Abb. 70/6.3) arbeiteten mit Röhrenschaltungen.

Inzwischen hatten die Röhrenrechner durch die Entwicklung von speziellen Langlebensdauer-Röhren soviel an Zuverlässigkeit gewonnen, daß sie auch für den Einsatz in der Privatwirtschaft brauchbar geworden waren. Bei kleinen Rechnern spielt ja der Stromverbrauch und der Bedarf an Klimatisierung nicht diese hindernde Rolle wie bei großen Anlagen.

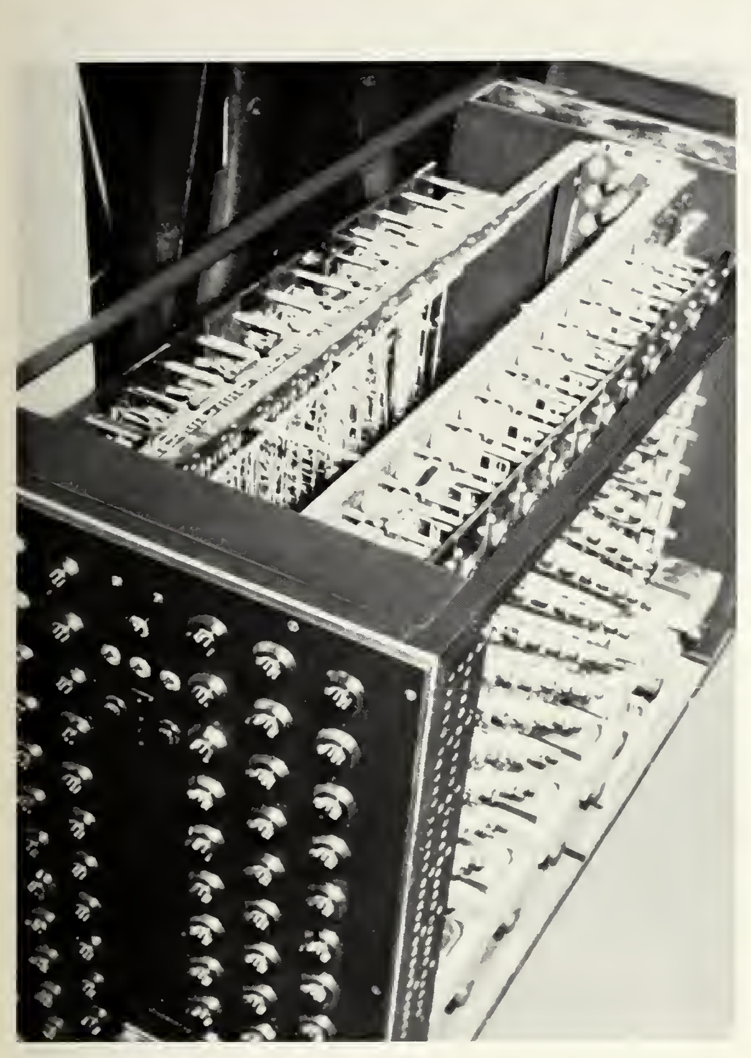


Abb. 57/6.3

Elektronisches Multipliziergerät: erster praktisch genutzter Röhrenrechner in Deutschland

gebaut von:	*Dr. Sprick (Institut für Angewandte Physik, Universität Kiel) für Schleswig-Holsteinische Landesbrandkasse (H. Schmidt)*
Baubeginn:	*1949*
Fertigstellung:	*1951*
Verwendung:	*Zusatzrechner zu einer Powers-Tabelliermaschine*
Code:	*dezimal*
Wortlänge:	*5 Dezimalstellen*
Leistung:	*Multiplikation 1 ms*
Literatur:	*Elektronische Zeitschrift (1. 9. 1951). Büromarkt (25. 4. 1951).* *H. Schmidt: Elektronische Rechenmaschine für die Versicherungswirtschaft. Versicherungswirtschaft H. 8 (15. 4. 1952).* *Zeitschrift für Versicherungswesen (April 1953).*

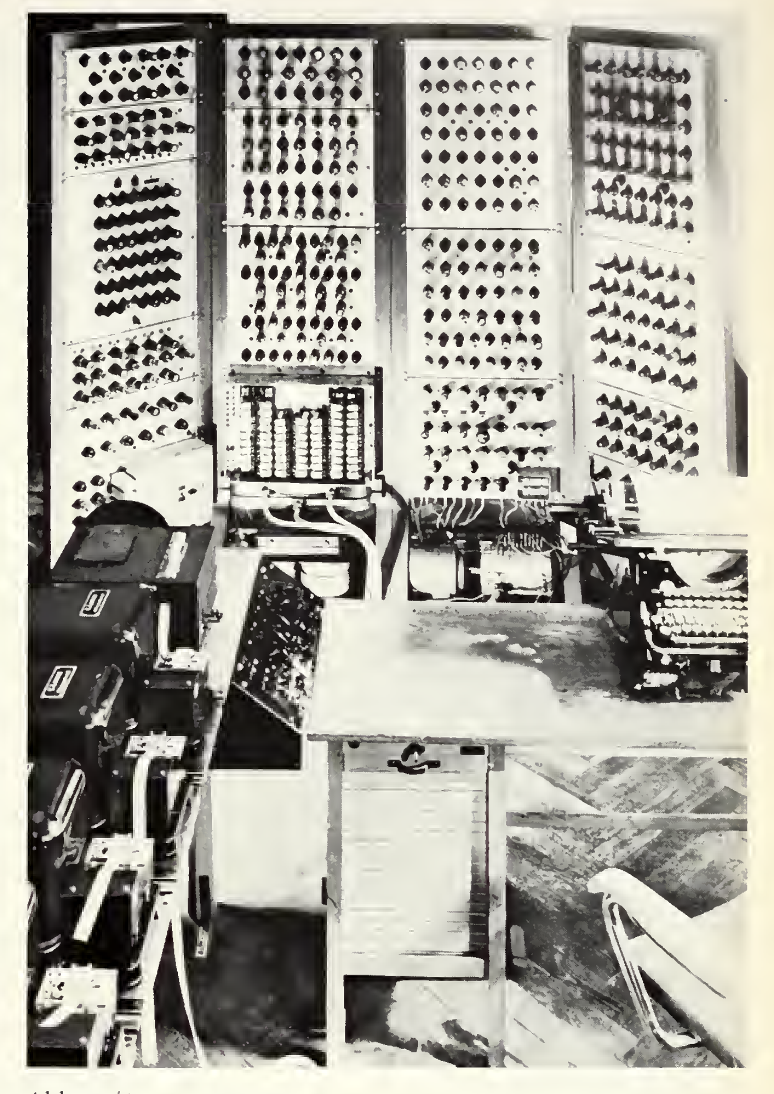


Abb. 58/6.3

Göttinger elektronische Rechenmaschine G 1

gebaut von:	*H. Billing und L. Biermann, Max-Planck-Institut für Physik, Göttingen*
Baubeginn:	*1950*
Fertigstellung:	*1952*
Code:	*dual, Serienrechner, 22 Befehle aus Lochstreifen*
Wortlänge:	*32 Bits, Festkomma nach der 3. Dualstelle*
Speicher:	*Magnettrommel mit Schnellzugriffsspuren (50 Hz) und 312 Speicherplätzen*
Taktfrequenz:	*7,2 kHz, ca. 2 Operationen/s*
Bauelemente:	*400 Röhren, 100 Relais*
Ein-/Ausgabe:	*Fernschreib-Lochstreifenleser und Schreibmaschine*
Literatur:	*H. Billing, L. Biermann: Moderne mathematische Maschinen. Naturwissenschaften (1953) H. 1.* *L. Biermann, H. Billing: Die Göttinger elektronischen Rechenmaschinen. ZAMM 33 (1953), S. 49–60.*

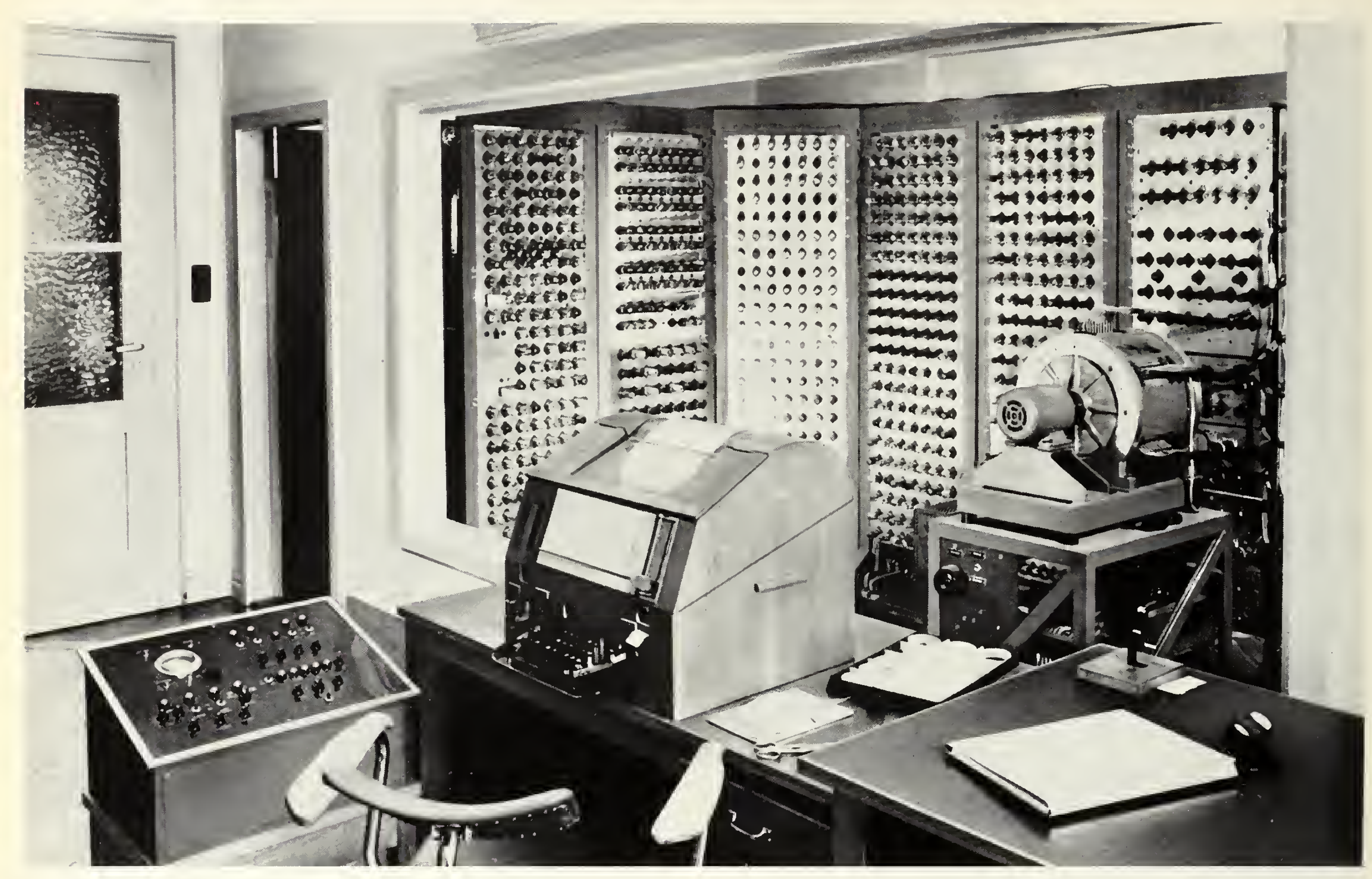


Abb. 59/6.3
Göttinger elektronische Rechenmaschine G 2

Göttinger elektronische Rechenmaschine G 2

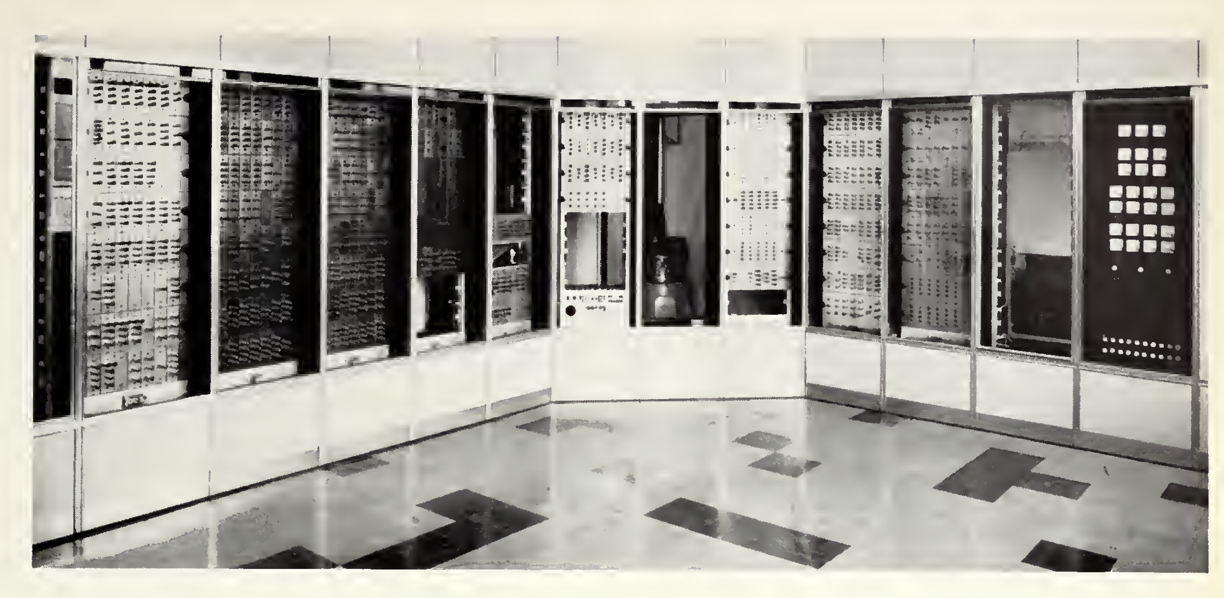
gebaut von:	*H. Billing und L. Biermann, Max-Planck-Institut für Physik, Göttingen*
Baubeginn:	*1950*
Fertigstellung:	*1959*
Code:	*dual, Serienrechner*
Wortlänge:	*50 Bits, Festkomma*
Speicher:	*Magnettrommel mit 2048 Speicherplätzen*
Taktfrequenz:	*92 kHz*
Bauelemente:	*1100 Röhren*
Leistung:	*ca. 100 Operationen/s*
Literatur:	*H. Billing: Eine neue deutsche elektronische Ziffernrechenmaschine. Bulletin vom 15. 3. 1955. H. Öhlmann: Bericht über die Fertigstellung der G 2. Nachrichtentechnische Fachberichte Bd. 4 (1956) S. 97–98.*

Darmstädter elektronischer Rechenautomat DERA

gebaut von:	*A. Walther, Institut für Praktische Mathematik der Technischen Hochschule Darmstadt*
Baubeginn:	*1951*
Fertigstellung:	*1959*
Code:	*Stibitz-(3-Excess-)Code, Serienmaschine*
Wortlänge:	*13 Dezimalstellen + VZ, Befehl 7 Stellen*
Speicher:	*Magnettrommel für 3000 Speicherplätze, Ferritkern-Register, 20 ms Zugriffszeit*
Taktfrequenz:	*200 kHz (Add.: 0,8 ms, Mult.: 12–16 ms*
Bauelemente:	*1400 Röhren, 8000 Dioden, 90 Relais*
Literatur:	*H.-J. Dreyer: Grundgedanken und Entwicklungsstand des Darmstädter Rechenautomaten. ZAMM 32 (1952) H. 8. Fünf Berichte in Nachrichtentechnische Fachberichte Bd. 4 (1956). 17 Institutsberichte des Instituts für Praktische Mathematik der Technischen Hochschule Darmstadt: Die Entwicklung von DERA.*

Die unverhältnismäßig lange Aufbauzeit der beiden Rechenanlagen in Göttingen und Darmstadt erklärt sich dadurch, daß die im wesentlichen zur wissenschaftlichen Ausbildung von Entwicklungsingenieuren und zur Erprobung von Schaltungen dienten.

Abb. 60/6.3
Darmstädter elektronischer Rechenautomat DERA



Programmgesteuerter elektronischer Rechenautomat München PERM

gebaut von:	*H. Piloty, Institut für elektrische Nachrichtentechnik und Meßtechnik, Technische Hochschule München.*	
Baubeginn:	*1952*	
Code:	*dual, Parallelmaschine, daher schnell*	
Wortlänge:	*51 Bits*	
Speicher:	*Magnettrommel:*	*8192 Speicherplätze*
	Ferritkernspeicher:	*2048 Speicherplätze*

Taktfrequenz:	*500 kHz, Additionszeit 8,5 μs*
Bauelemente:	*2400 Röhren, 3000 Dioden*
Literatur:	*H. Piloty: Die PERM. Nachrichtentechnische Fachberichte Bd. 3 (1955) H. 11.* *H. Piloty: Die Entwicklung der PERM. Nachrichtentechnische Fachberichte Bd. 4 (1956), S. 40–45.*

Abb. 61/6.3
Programmgesteuerter elektronischer Rechenautomat München PERM

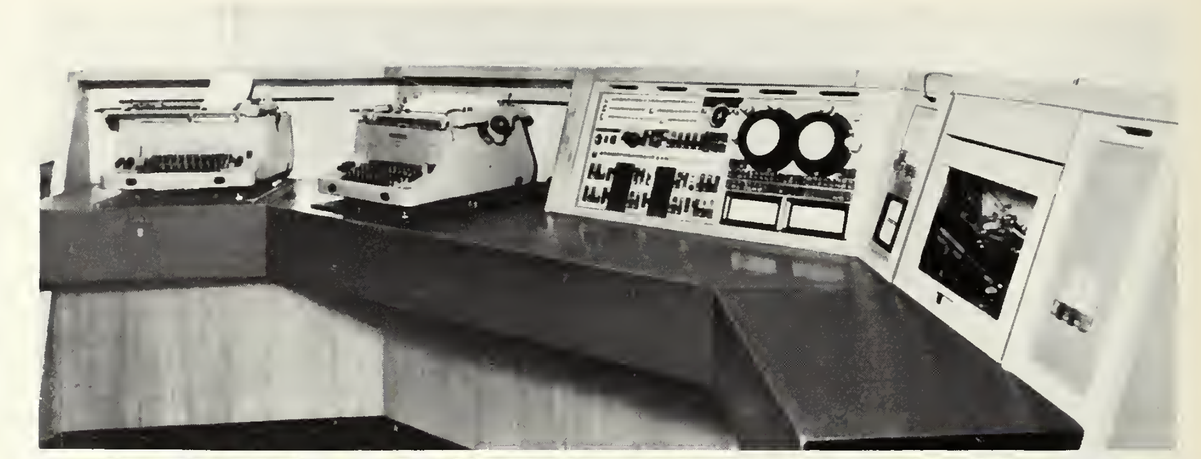


Abb. 62/6.3
Kleiner Rechenautomat D 1

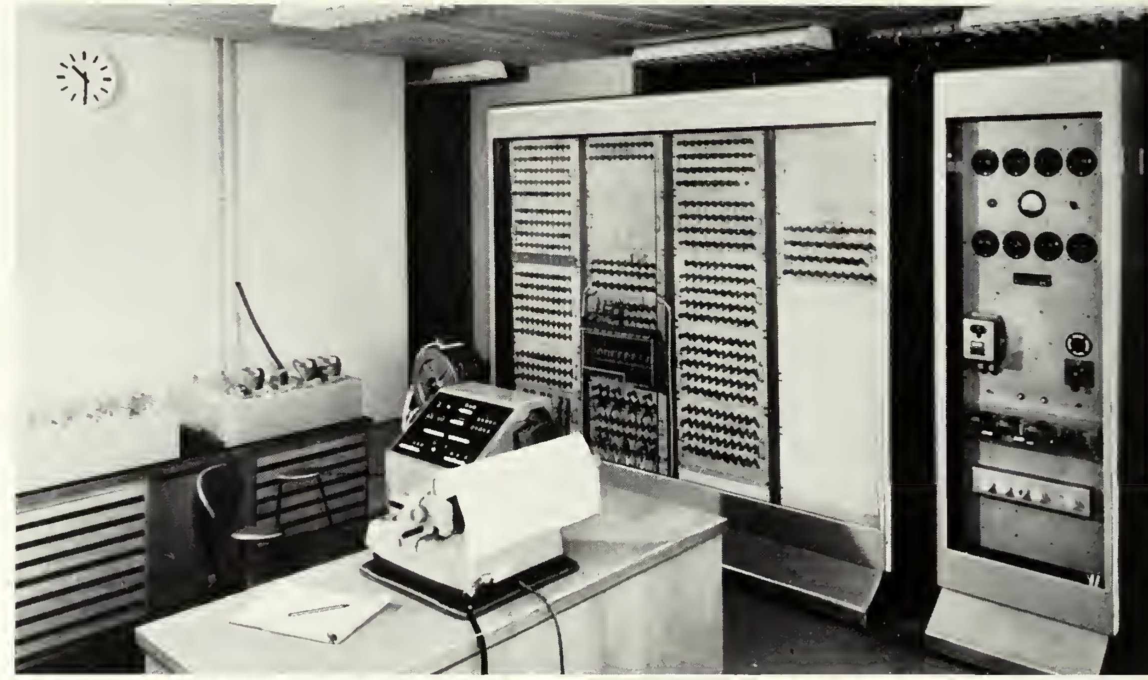


Abb. 63/6.3
Göttinger elektronische Rechenmaschine G 1 a

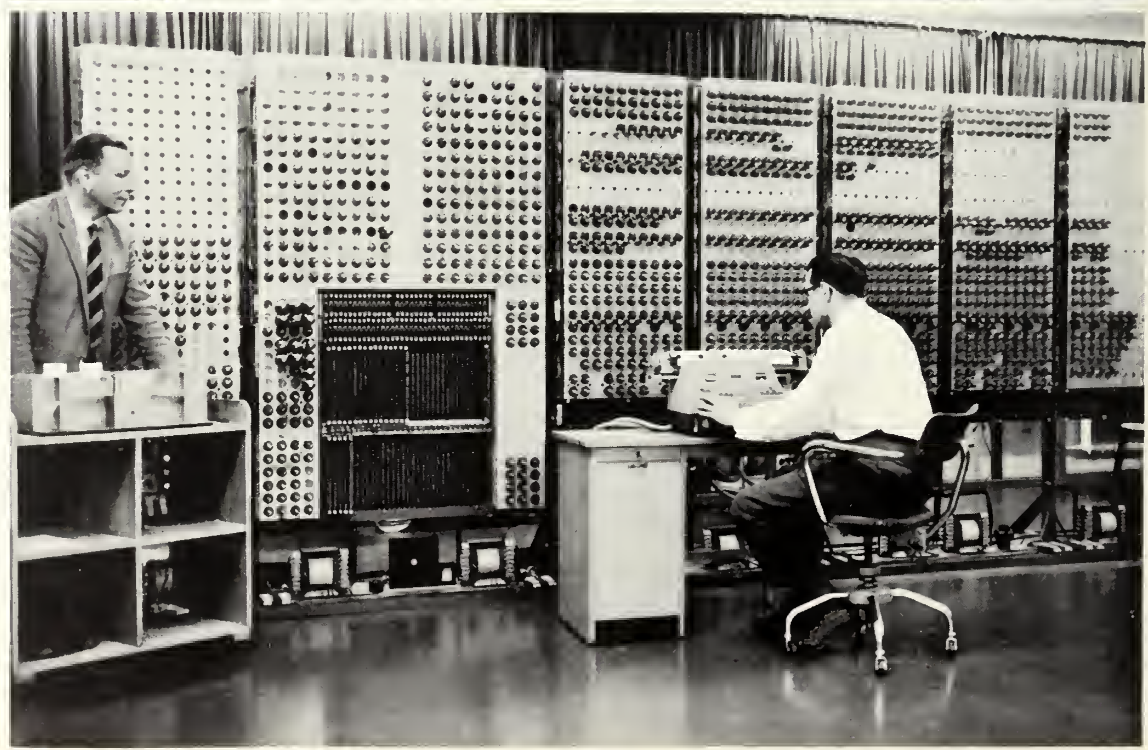


Abb. 64/6.3
Göttinger elektronischer Rechenautomat G 3

Kleiner Rechenautomat D 1

gebaut von:	*J. Lehmann, Institut für Maschinelle Rechentechnik, Technische Universität Dresden.*
Baubeginn:	*1953*
Fertigstellung:	*1956*
Code:	*dual, Serienmaschine*
Wortlänge:	*72 Bits*
Speicher:	*Magnettrommel mit 2048 Speicherplätzen (s. Abb. 38/8.3.5.2) 3 Indexregister*
Taktfrequenz:	*100 kHz*
Bauelemente:	*760 Röhren, 1000 Selendioden, 100 Relais*
Literatur:	*J. Lehmann: Bericht über den Entwurf eines kleinen Rechenautomaten an der Technischen Universität Dresden. Berliner Math. Tagung, Febr. 1953.* *J. Lehmann: Stand und Ziel der Dresdner Rechengeräteentwicklung. Nachrichtentechnische Fachberichte 4 (1956), S. 46; (vorgesehen: lochstreifengesteuertes Zeichengerät).*

Göttinger elektronische Rechenmaschine G 1 a

gebaut von: *H. Billing, Max-Planck-Institut für Physik, Göttingen*

Die Maschine ist eine verbesserte Version der G 1; von dem Typ G 1 a wurden drei Anlagen gebaut.

Baubeginn:	*1955*
Code:	*dual, Serienmaschine*
Wortlänge:	*60 Bits*
Speicher:	*Magnettrommel mit 1840 Speicherplätzen*
Bauelemente:	*520 Röhren, 35 Relais*
Literatur:	*W. Hopmann: Zur Entwicklung der G 1 a. Nachrichtentechnische Fachberichte Bd. 4 (1956) S. 92–96.*

Göttinger elektronischer Rechenautomat G 3

gebaut von:	*H. Billing, Max-Planck-Institut für Physik, Göttingen*
Baubeginn:	*1955*
Standort:	*Max-Planck-Institut für Astrophysik, München*
Code:	*dual, Parallelmaschine*
Wortlänge:	*42 Bits*
Speicher:	*Ferritkernspeicher mit 4096 Speicherplätzen*
Operationsgeschwindigkeit:	*ca. 5000 Operationen/s*
Literatur:	*A. Schlüter: Das Göttinger Projekt einer schnellen elektronischen Rechenmaschine (G 3). Nachrichtentechnische Fachberichte Bd. 4 (1956) S. 99–100.*

Magnetband-Kleinrechner der Technischen Universität Berlin

Speziell entwickelt für nicht zu häufig wechselnde Probleme, die mit linearen oder einfach zyklischen Programmen gelöst werden können, z. B. Auswertung von Kinotheodolit-Meßreihen oder Regelungs- und Steueraufgaben.

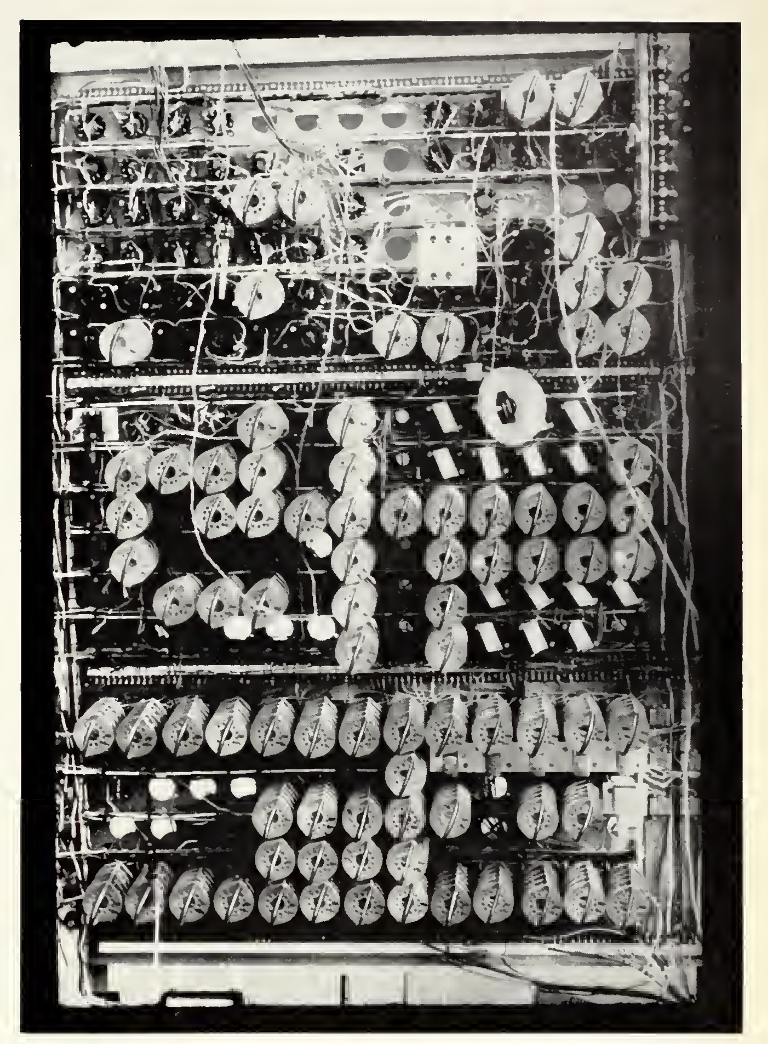


Abb. 65/6.3
Magnetband-Kleinrechner der Technischen Universität Berlin

gebaut von:	*W. Haack und F. R. Güntsch, Mathematisches Institut, Technische Universität Berlin*
Baubeginn:	*1955*
Fertigstellung:	*1959*
Code:	*dual, Serienmaschine, Festkomma*
Wortlänge:	*27 Bits, 25 für Zahlen*
Speicher:	*Ferritkernspeicher mit 64 Speicherplätzen*
Ein-/Ausgabe:	*elektrische Schreibmaschine, Analog-Digital-Wandler, Kurvenabtaster*
Taktfrequenz:	*50 kHz; damit Addition 0,5 ms; Multiplikation 18 ms; Division 55 ms.* *Der Takt zur Steuerung der Maschine wird wie das Programm von einem einspurigen Tonbandgerät abgegeben.* *Das Magnetbandprogramm kann mit einem sinnfälligen Externcode mittels einer Universalrechenanlage erstellt werden. Die Einadreß-Befehle enthalten Mikrobefehle von je 1 Bit, wodurch große Flexibilität erreicht ist.*
Literatur:	*F. R. Güntsch und H. Lukas: Magnetbandrechner der Technischen Universität Berlin. Elektron. Datenverarbeitung (1959), H. 2., S. 13–46.* *F. R. Güntsch: Programmgesteuerter Rechenautomat. Patentanmeldung DAS 1162109 (42 m 14 vom 11. 4. 1958).*



Abb. 66/6.3
ZUSE Z 22. Im offenen Schrank der Magnettrommelspeicher und die Röhren-Steckeinheiten

ZUSE Z 22

gebaut von:	*K. Zuse KG, Bad Hersfeld*
Bau der ersten Anlage:	*1956–1958; rd. 50 Stück verkauft.*
Code:	*dual, Serienmaschine*
Wortlänge:	*38 Bits*
Speicher:	*Magnettrommel (6000 U/min) für 8192 Speicherplätze, Ferritkernspeicher 25 Speicherplätze*
Ein-/Ausgabe:	*Lochstreifen (Fernschreibcode), Streifenleser für 15 oder 200 Zch/s, Druckwerk 25 Zch/s*
Taktfrequenz:	*140 kHz*
Leistung:	*Addition 0,6 ms, Multiplikation 10 ms, Division 60 ms, Wurzel 200 ms*
Bauelemente:	*500 Röhren, 2400 Dioden*
Zubehör:	*Gesonderte Programmiereinheit aus Streifenleser, -locher und Blattschreiber. „Analytischer Befehlscode" zur beliebigen Kombination von Mikrobefehlen in die Binärstellen des Befehlswortes, jedes Bit eine Operation auslösend. Dadurch sehr flexible Programmierung und sparsamster Aufbau. Diese Konzeption Zuses entstand unter Mitwirkung von Th. Fromme (Projekt „Minima"), beeinflußt von den Arbeiten van der Poels. Sie ist Vorbild für viele moderne Programm-Befehlscodes.*

Die deutsche Industrie konnte erst nach Ablauf des Verbotes der Beschäftigung mit Radar- und anderen elektronischen Geräten die Konstruktion von Elektronenrechnern aufgreifen. Nur Zuse benutzte (von seinen vielen Kunden gedrängt, schnellere als Relais-Rechner zu bauen) noch die Röhrentechnik; die deutsche Entwicklung begann sonst 1956 einhellig mit der neuen, allerdings noch etwas riskanten Halbleitertechnik (siehe Tabelle S. 178).

Dresdner Rechenautomat D 2

gebaut von:	*J. Lehmann, Institut für maschinelle Rechentechnik, Technische Universität Dresden*

Die Maschine ist eine Weiterentwicklung der D 1.

Code:	*dual, Serienrechner*
Wortlänge:	*56 Bits*
Speicher:	*Magnettrommel mit 18000 U/min, 4096 Speicherplätze, Schnellspeicher 320 Speicherplätze*
Taktfrequenz:	*270 kHz*
Bauelemente:	*1400 Röhren, 2000 Dioden, 100 Relais.*

Abb. 67/6.3
IBM 650 – Magnettrommelspeicher im Bau im Werk Sindelfingen; in Europa wurden rd. 80 Stück aufgestellt. Trommel siehe Abb. 36/3.5.2

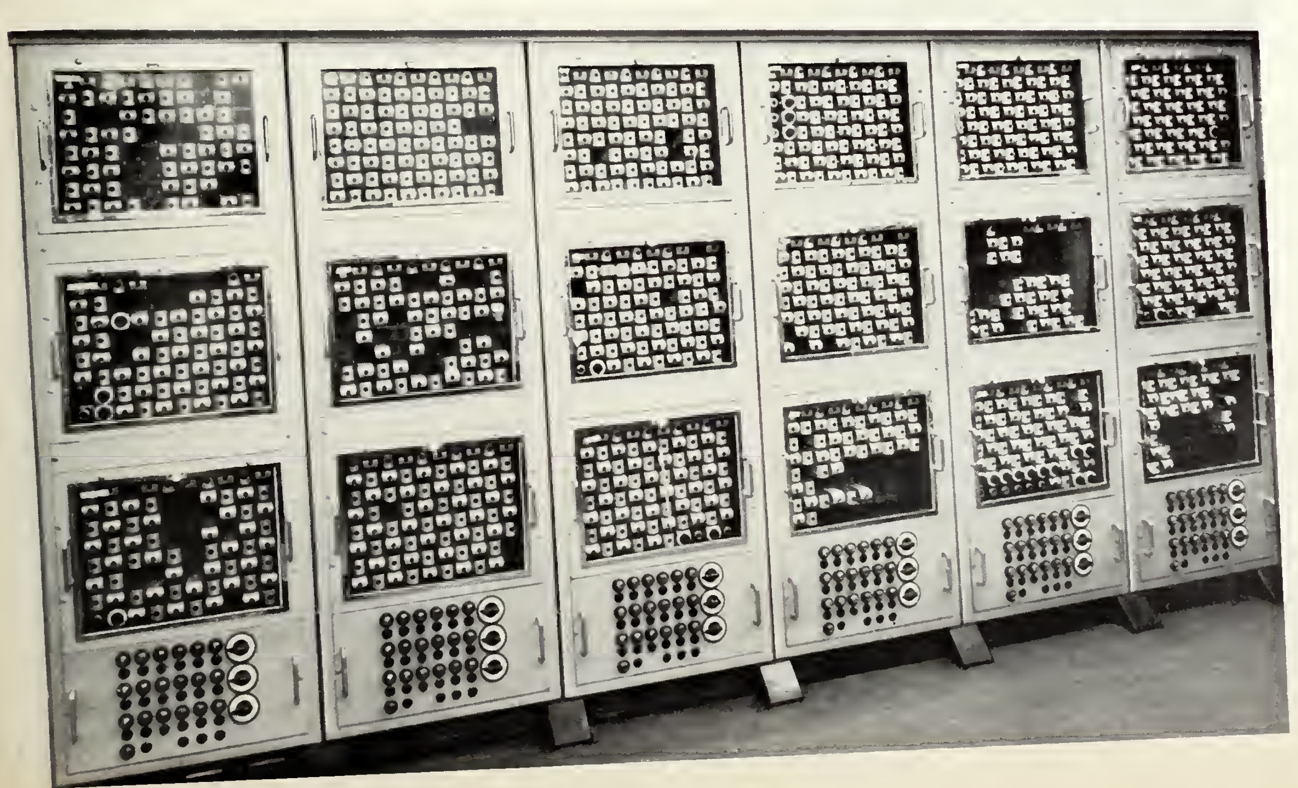


Abb. 68/6.3
Dresdner Rechenautomat D 2



Abb. 69/6.3
Zeiss-Rechenautomat ZRA 1

ZEISS – Rechenautomat ZRA 1

gebaut von:	*W. Kämmerer, VEB Carl Zeiss Jena*
Baubeginn:	*1958*
Code:	*dual, Serienmaschine*
Wortlänge:	*48 Bits*
Speicher:	*Magnettrommel mit 4096 Speicherplätzen (gleicher Konstruktion wie in den Rechnern D 1 und D 2)*
Taktfrequenz:	*200 kHz*
Bauelemente:	*770 Röhren, 12 000 Dioden, 8500 Ferritkerne. Die Röhren dienen lediglich als Treiberstufen der Ferritkernschaltungen.*

Diese Rechenanlage ist u. a. im wissenschaftlichen Rechenzentrum der Hochschule für Architektur und Bauwesen in Weimar aufgestellt.

Literatur:	*W. Kämmerer, H. Kortum, F. Straube: Zeiss-Rechenautomat ZRA 1. Jenaer Rundschau 4 (1959) H. 1.*

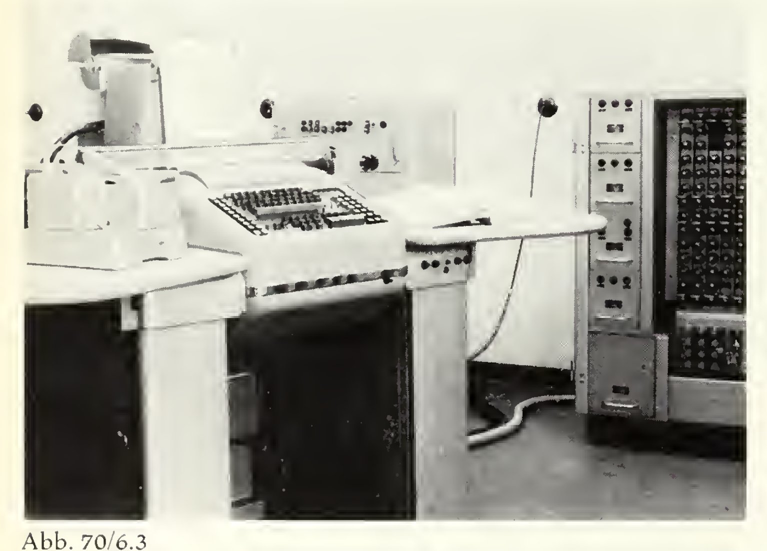


Abb. 70/6.3
Robotron R 12 Elektronisches Multipliziergerät, im Bilde (rechts hinten) in Verbindung mit einer Optima-Buchungsmaschine.

Robotron R 12 Elektronisches Multipliziergerät

gebaut von:	*Institut für maschinelle Rechentechnik der Technischen Universität Dresden und VEB Elektronische Rechenmaschinen (Ascota)*
Arbeitsweise:	*bis zu 3 Buchungsmaschinen (Ascota bzw. Optima) mit einem elektronischen Multiplizierzusatz; Programmsteuerung durch die Steuerbrücken der Buchungsmaschinen; ein Lochstreifengerät anschließbar.*
Leistung:	*Multiplikation 85 ms bei $6 \times 7 = 13$ Stellen. Bei Anschluß zweier Buchungsmaschinen über einen Verteiler können bis zu 1,2 s Wartezeit entstehen, während der die Eingabe gesperrt ist.*
Bauelemente:	*200 Röhren*
Literatur:	*Bürotechnik und Organisation 7 (1959), H. 12.*



Abb. 71/6.3
Dataquick Elektronische Buchungsmaschine

Dataquick Elektronische Buchungsmaschine

gebaut von:	*Siemag Feinmechanische Werke, Eiserfeld/Sieg*
Code:	*dezimal, Serienmaschine*
Wortlänge:	*14 Dezimalstellen*
Speicher:	*Magnettrommel mit 120 Speicherplätzen*
Taktfrequenz:	*25 kHz*
Bauelemente:	*138 Röhren, 220 Thyratrons, 350 Relais.*

Die erste kommerziell hergestellte Kleinrechenanlage in Deutschland.

Entwicklung von Elektronenrechnern in Holland

1946 wurde in Amsterdam das „Mathematisch Centrum" gegründet, dessen Rechenabteilung unter Prof. A. van *Wijngaarden* 1948 einen Relaisrechner ARRA (s. Abb. 33/5.6.2) zu entwickeln begann, der 1951 fertiggestellt wurde. Eine Version in Röhrentechnik ARRA-Neu (Abb. 72/6.4) wurde unter dem Namen FERTA auch an die Flugzeugwerke Fokker ausgeliefert und war bis 1963 in Betrieb. 1955 wurde eine erste elektronische Rechenanlage ARMAC (Abb. 73/6.4) in Betrieb genommen. Auf Grund der Erfahrungen mit dieser leistungsfähigen Maschine wurde 1957 die Firma N. V. Electrologica (als Tochter der Versicherungsgesellschaft NILMIJ) gegründet, welche 1958 das Modell X 1 (s. Abb. 23/7.1) als einen der ersten voll mit Transistoren, Magnetkernspeichern und automatischem Eingriffssystem ausgerüsteten Universalrechner auf den Markt brachte.

Die Trommel der ARRA-Neu

gebaut von:	*A. van Wijngaarden und B. Loopstra, Mathematisch Centrum, Amsterdam (gegr. 1946)*

Mit gleichem Namen wurde ursprünglich ein Relais-Rechner bezeichnet (s. Abb. 1/5.6.2), die endgültige Ausführung aber ist elektronisch.

Fertigstellung:	*1954*
Code:	*dual, Serienmaschine*
Wortlänge:	*30 Bits*
Speicher:	*Magnettrommel, 1024 Speicherplätze*
Bauelemente:	*500 Röhren, 2000 Dioden, 15 Relais*
Literatur:	*A. van Wijngaarden: Computing Machine Projects in Holland. Report of Conf. on High-Speed Autom. Calc. Mach., Juni 1949, Cambridge, England.*

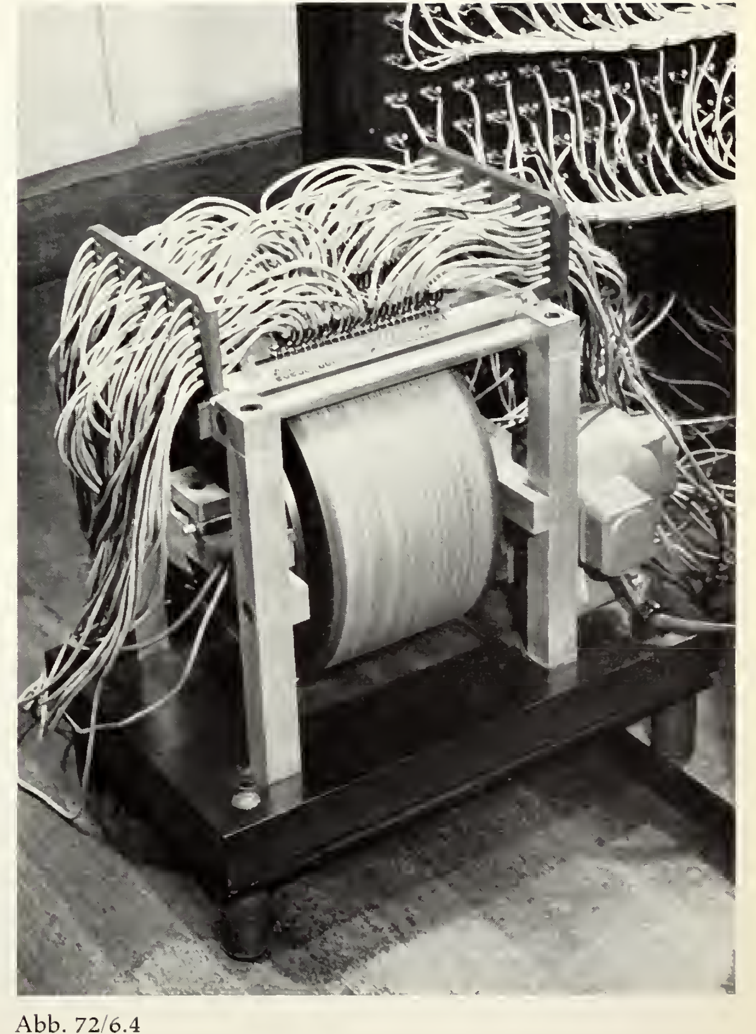


Abb. 72/6.4
Die Trommel der ARRA-Neu

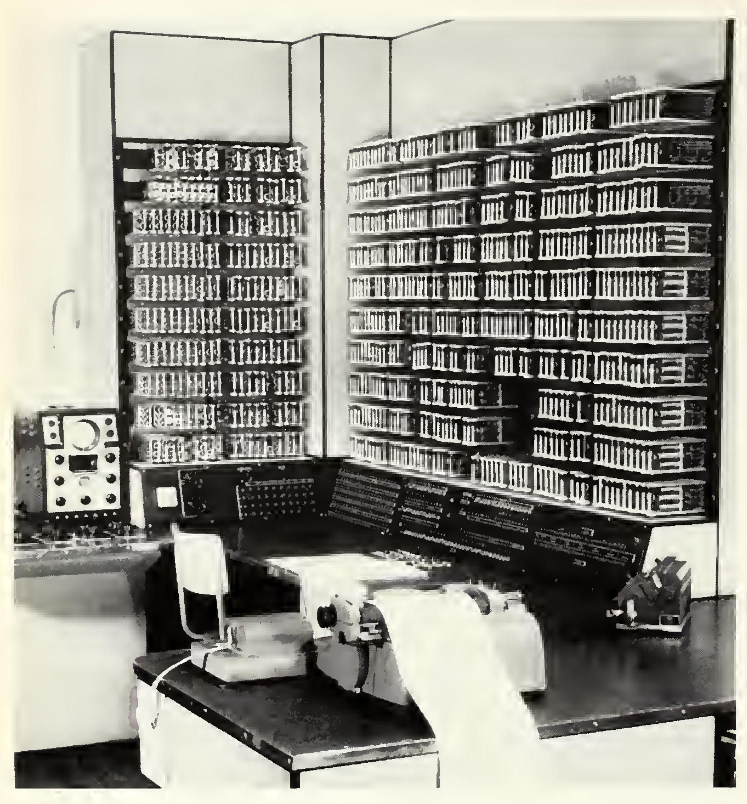


Abb. 73/6.4
Automatische Rechenmaschine Mathematisch Centrum ARMAC

ARMAC Automatische Rechenmaschine Mathematisch Centrum

gebaut von:	*Mathematisch Centrum, Amsterdam*
Baubeginn:	*1955*
Fertigstellung:	*1956*
Code:	*dual, Einadreß-Serienmaschine*
Wortlänge:	*34 Bits, für 2 Befehle oder 10 Dezimalstellen*
Speicher:	*Ferritkernspeicher: 512 Speicherplätze* *Magnettrommel: 3584 Speicherplätze*
Taktfrequenz:	*100 kHz; Additionszeit 0,4 ms*
Bauelemente:	*1200 Röhren, 9000 Dioden*
Literatur:	*Journal of ACM Bd. 4 (1957), S. 106–108.*

Abb. 74/6.4
Philips Automatic Sequence Calculator PASCAL

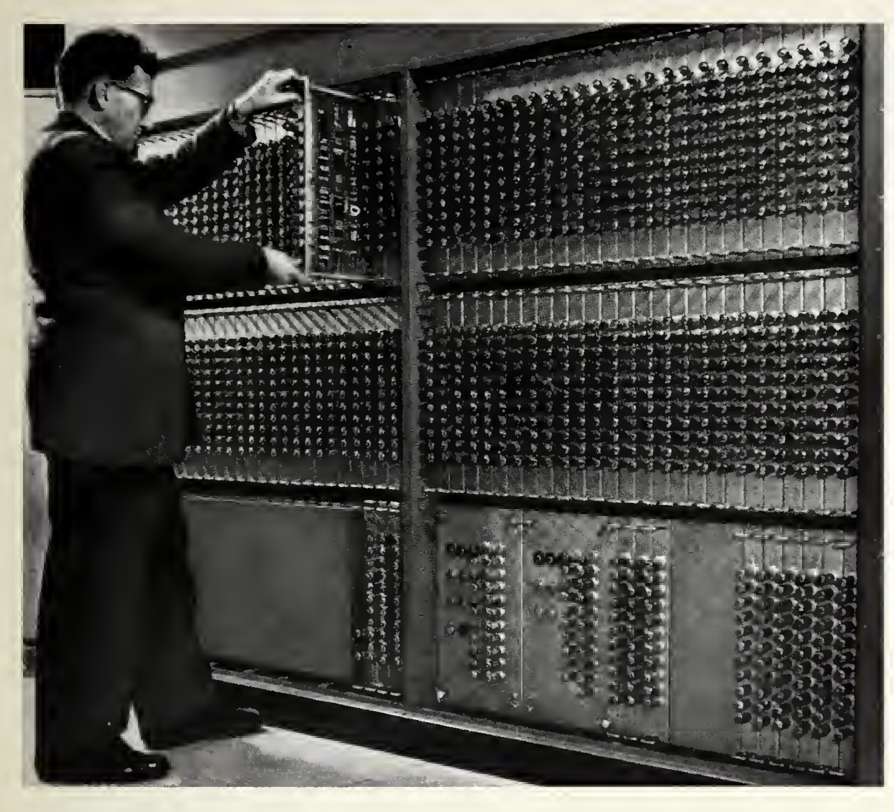


Abb. 75/6.4
Steckrahmen-Bauweise

PASCAL Philips Automatic Sequence Calculator

gebaut von:	*Philips Forschungslaboratorium Eindhoven*	
Baubeginn:	*1956*	
Fertigstellung:	*1961*	
Code:	*dual, Parallelmaschine*	
Wortlänge:	*44 Bits*	
Speicher:	*Magnetkernspeicher:*	*2016 Speicherplätze*
	Magnettrommel:	*16 384 Speicherplätze*
Taktfrequenz:	*660 kHz*	
Bauelemente:	*12 000 Röhren, 10 000 Transistoren, 15 000 Dioden*	
Literatur:	*H. J. Heijn, J. C. Selman: The Philips Computer PASCAL. IRE Transactions E. C. Bd. 10 (1961), S. 175–183. Philips Technische Rundschau, 1961/62, Nr. 1.*	

Aus den Entwicklungsarbeiten des „Mathematisch Centrum" in Amsterdam resultiert der 1958 erstmals arbeitende Transistor-Rechner X 1, für dessen Herstellung die Firma Electrologica gegründet wird. Wie beim russischen Röhrenrechner BESM wird neben dem „lebenden" Ferritkernspeicher ein „Totspeicher" für konstante Programmroutinen verwendet, wodurch bis zu 32 768 Befehlswörter gespeichert werden können.

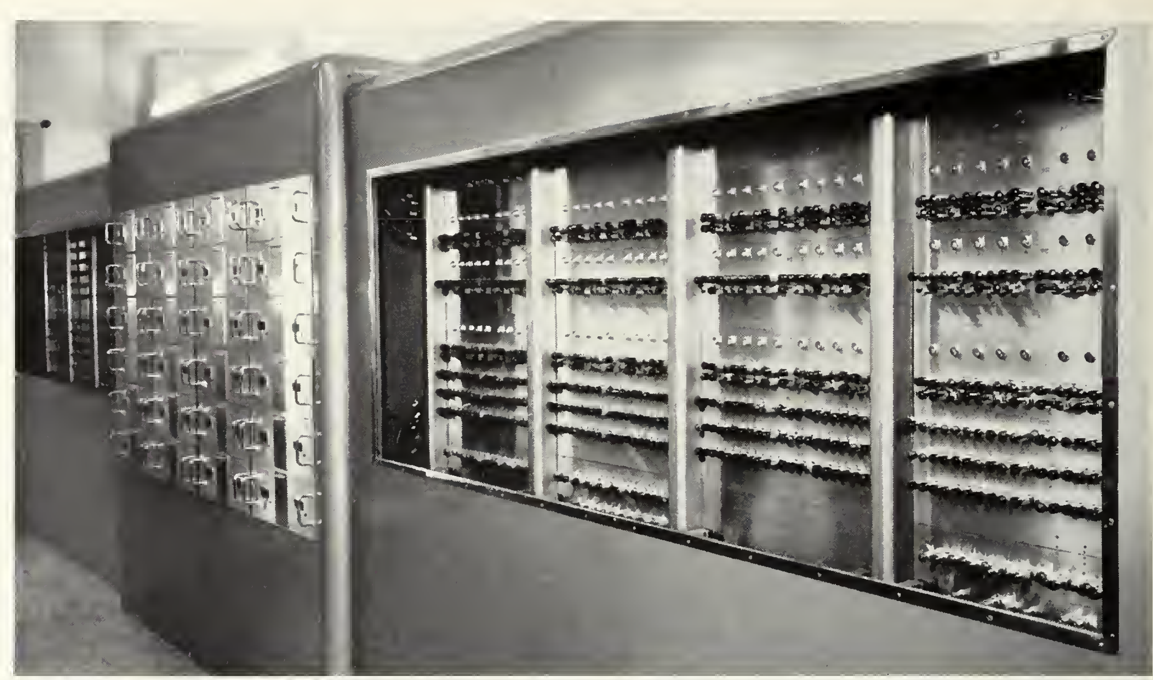


Abb. 76/6.4
Binär Elektronisk Sequenz Kalkylator BESK



Abb. 77/6.4
Facit EDB

BESK Binär Elektronisk Sequenz Kalkylator

gebaut von:	*Mathematische Arbeitsgruppe (Erik Stemme), Königl. Technische Hochschule Stockholm*
Baubeginn:	*1950*
Fertigstellung:	*5. 11. 1953 – am 1. 4. 1954 in regulären Betrieb übernommen*
Code:	*dual, Parallelmaschine*
Wortlänge:	*40 Bits*
Speicher:	*40 Williams-Speicherröhren 256/512 Speicherwörter (ausgebaut mit Ferritkernspeicher), Magnettrommel, 3000 U/min, 8192 Speicherplätze*
Taktfrequenz:	*160 kHz*
Bauelemente:	*2250 Röhren, 200 Dioden*
Ein-/Ausgabe:	*dielektrischer Lochstreifen-Leser 400 Zch/s, Streifenlocher 170 Zch/s und Schreibmaschine*
Literatur:	*Communications from Swedish Board for Comp. Machinery, 1. Juni 1950.*

Facit EDB

gebaut von:	*Facit Electronics, Stockholm*	
erste Auslieferung:	*1957*	
Code:	*dual, Parallelmaschine (22 200 Add/s)*	
Wortlänge:	*40 Bits*	
Speicher:	*Magnetkernspeicher:*	*2048 Speicherplätze*
	Magnettrommel:	*8192 Speicherplätze*
Bauelemente:	*2600 Röhren, 3000 Dioden, 4000 Transistoren*	
Literatur:	*J. de Kerf: A Survey of European Digital Computers. Computers & Automation, April 1960, S. 25.*	

Besonders interessant: der dazu entwickelte Magnetband-Karusselspeicher



Abb. 78/6.4
Siffermaskinen I Lund SMIL

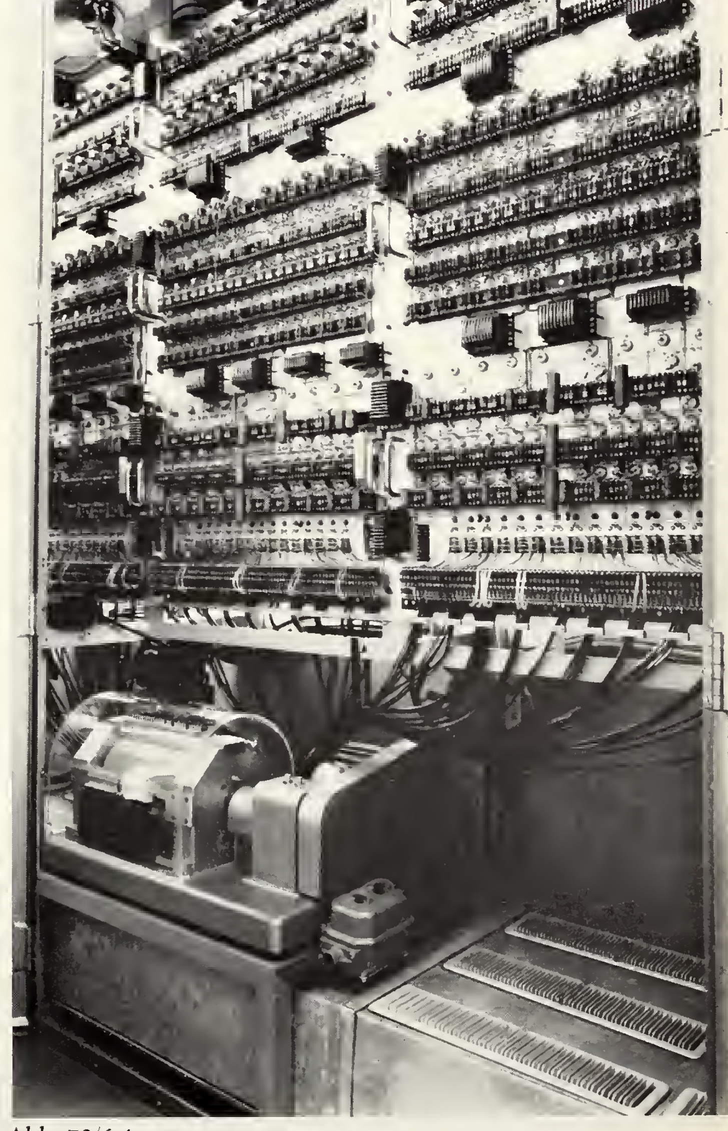


Abb. 79/6.4
Speichereinheit der SMIL

SMIL Siffermaskinen I Lund

gebaut von:	*Institut für theoretische Physik, Universität Lund, Schweden*
Fertigstellung:	*1956*

Das Rechenwerk der Maschine ist eine Kopie der BESK in Stockholm.

Code:	*dual, Parallelmaschine*
Wortlänge:	*40 Bits*
Speicher:	*Magnettrommel, 2048 Speicherplätze*
Bauelemente:	*2000 Röhren, 200 Dioden*
Literatur:	*C. E. Fröberg, G. Wahlström: SMIL, Siffermaskinen I Lund. Lunds Universitets Arsskrift N. F. Avd. 2, Bd. 53 (1957) Nr. 4.*



Abb. 80/6.4
IRSIA-FNRS

entwickelt von:	*Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (V. Belevitch)*
gebaut von:	*Bell Telephone Manufacturing Comp., Antwerpen*
Baubeginn:	*1951*
Fertigstellung:	*1953*
Code:	*dezimal, Einadreß-Serienmaschine*
Wortlänge:	*18 Dezimalstellen (Binärtetraden), davon 2 für Exponent, 1 für Vorzeichen; 2 Befehle/Wort.*
Speicher:	*Magnettrommel (4000 U/min) mit je 100 Spuren für Daten und Befehle mit asynchroner Steuerung, Kaltkathodenröhren-Register, 25 kHz Umlauftakt. Magnetbänder (10 Zch/mm, 3 m/s).*
Taktfrequenz:	*100 kHz*
Bauelemente:	*2000 Röhren, 2500 Dioden.*

In Frankreich hatte L. *Couffignal* schon im Jahre 1938 eine im Dualsystem arbeitende mechanische Rechenanlage entworfen, konnte sie jedoch nicht fertigstellen.

Die ersten Entwicklungen zu elektronischen Anlagen begannen um 1948 durch die Société d'Electronique et d'Automatisme (SEA), welche sich auf Verzögerungsstrecken-Speicher abstützte. Nach speziellen Rechnern für militärische Zwecke wurden Universal-Anlagen und um 1954 ein Magnettrommelspeicher dafür entwickelt. Die Typen der Serien CAB 2000, 3000 und 4000 waren mit unterschiedlicher Wortlänge von 16, 22, 36 Stellen geplant, wobei allerdings nur der Typ 2022 (Abb. 82/6.4) in einigen Exemplaren gebaut wurde. Für die Serie 3000 waren Magnetbandgeräte und größere Trommelspeicher vorgesehen, sowie schnelle Multiplikationsregister; die Serie 4000 sollte Parallelrechenwerke und Großspeicher zur Verwendung als Datenverarbeitungsanlagen erhalten.

Die Firma Bull begann 1951 mit der Entwicklung eines Röhrenrechners auf der Grundlage ihrer Lochkartenmaschinen. Der Rechenzusatz Gamma 3 (Abb. 81/6.4) wurde in größeren Stückzahlen gebaut. Die Programmierung (mit 15 Grundoperationen) erfolgte durch Lochkarten, die je bis zu 48 Befehle enthalten konnten. Ein/Ausgabe erfolgte durch Kartendoppler (120 Karten/min) bzw. Tabelliermaschine (150 Karten/min). Eine Wortzeit war 0,175 ms.

Bull Gamma 172 ist eine mit Transistoren ausgerüstete neuere Version des Gamma 3.

Bull Gamma ET („Extension Tambour") entstand aus dem Gamma 3 durch Anbau eines Magnettrommelspeichers Type 49.00 (2750 U/min, mit 128 Spuren zu je 6144 Bits, also 196 608 Ziffern Kapazität) und von 64 schnellen Pufferspeichern als Magnetostriktionsstrecken (12 Ziffern, 0,7 ms Zugriffszeit). Grundfrequenz war 280 kHz, Operationstakt 5800 Hz.

Ein Zusatz-„Ordonnateur" bestand aus Pufferspeichern und Schalteinheiten, um zwei Locher oder Tabelliermaschinen simultan steuern und somit die Rechengeschwindigkeit trotz langsamer Ausgabegeräte nutzen zu können.

Bull Gamma 3:	*a) Tabelliermaschine, b) Ergebnisstanzer, c) Rechenwerk, d) Magnettrommel, e) Netzteil*
gebaut von:	*Compagnie des Machines Bull, Paris*
erste Auslieferung:	*1953*
Code:	*dezimal (dual codiert), Serienmaschine*
Wortlänge:	*12 Dezimalstellen*
Speicher:	*Verzögerungsstrecken für 4–7 Speicherwörter* *Magnettrommel 16 384 Speicherwörter*
Taktfrequenz:	*280 kHz*
Bauelemente:	*800 Röhren, 18 000 Germanium-Dioden*
Literatur:	*M. R. Letov: Le calculateur électronique conçu et realisé par Bull pour le travail de bureau. Conf. au Comité Nat. de l'Organisation Française, Paris, Juni 1952.*

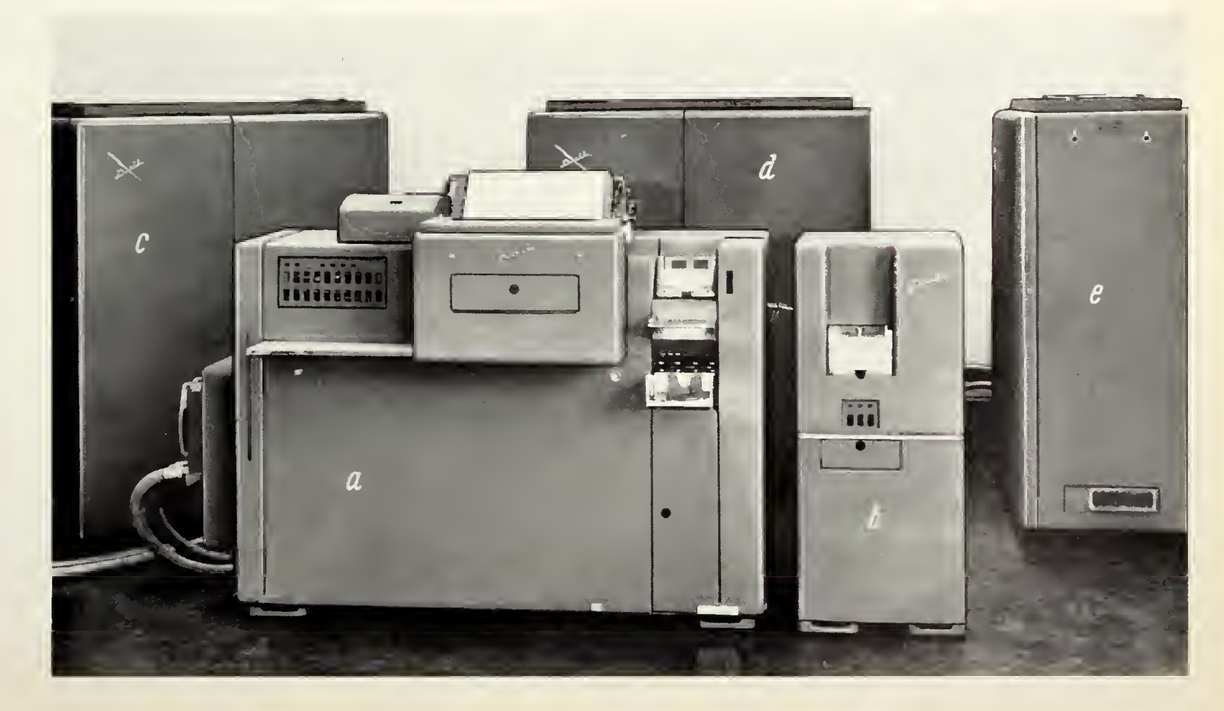


Abb. 81/6.4
Bull Gamma 3



Abb. 82/6.4
SEA Calculatrice Arithmétique Binaire CAB 2022

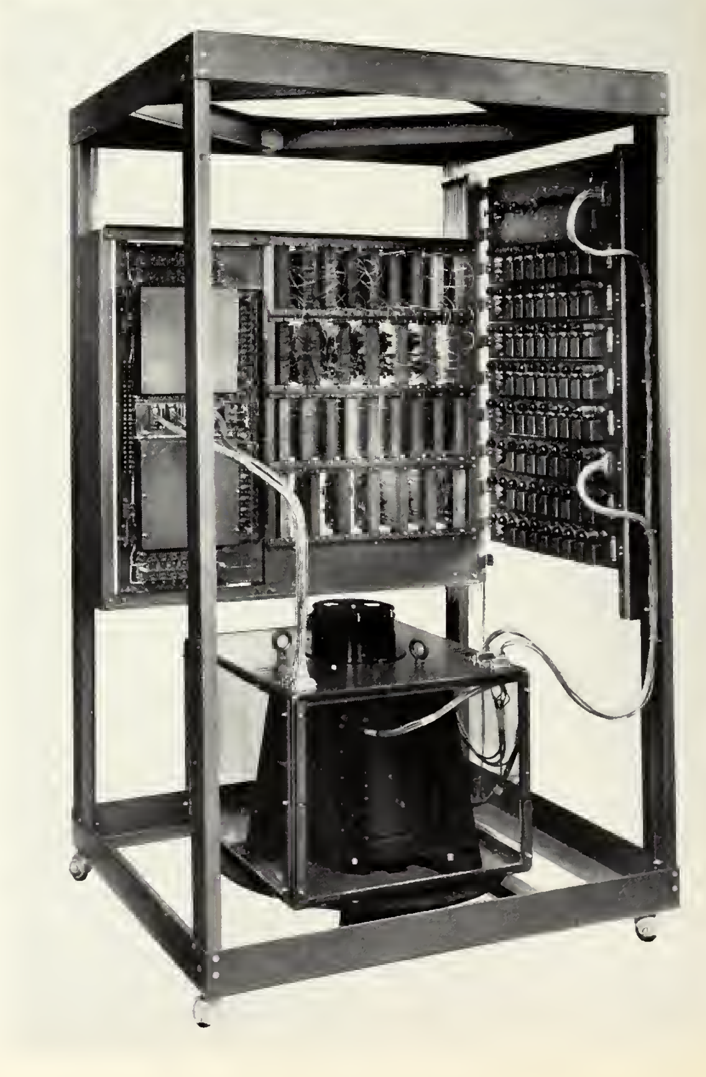


Abb. 82 a/6.4
Speichereinheit der CAB 2022

CAB 2022 Calculatrice Arithmétique Binaire

gebaut von:	*SEA Société d'Electronique et d'Automatisme, Courbevoie (Seine)*
Beginn der Planung:	*1948*
Fertigstellung:	*1955, zwei Anlagen gebaut*
Code:	*dual, Serienmaschine*
Wortlänge:	*22 Bits oder doppelte Wortlänge*
Speicher:	*2 Ferritkernspeicher zu je 64 Wörter* *Magnettrommel: 8192 Wörter*
Taktfrequenz:	*100 kHz (2174 Add/s)*
Bauelemente:	*800 Röhren, 8000 Dioden*
Ein-/Ausgabe:	*Lochstreifen, Fernschreiber*
Literatur:	*S. E. A.: Calculatrice arithmétique universelle Typ CAB 2022. Sonderdruck DOC, NC-60-C Mai 1955.* *P. Namain: Une calculatrice numérique universelle Française CAB 2022. Revue Ingénieurs et Techniciens Nr. 78, Juni 1955.*

Eine Eigenentwicklung in der Schweiz

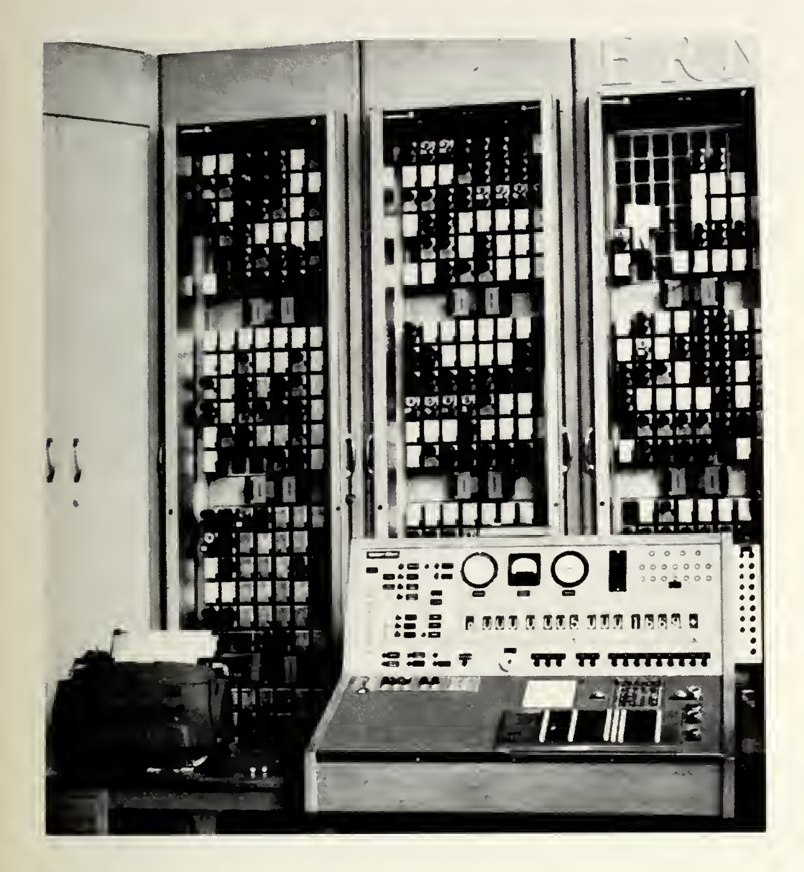


Abb. 83/6.4

ERMETH Elektronische Rechenmaschine der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich

gebaut von:	*A. Speiser, H. Rutishauser, E. Stiefel, Institut für angewandte Mathematik, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich*
Baubeginn:	*1952*
Fertigstellung:	*1955*
Code:	*dezimal (Aiken-Code), Serien-Parallelmaschine, Gleitkomma*
Wortlänge:	*16 Dezimalstellen*
Speicher:	*Magnettrommel, 10 000 Speicherplätze*
Taktfrequenz:	*30 kHz, Operationszeiten für Multiplikation 10 ms*
Bauelemente:	*1700 Röhren, 7000 Dioden, 200 Relais*
Ein-/Ausgabe:	*Lochkartenmaschinen (mit 7 Koordinatenschaltern als Puffer), Schreibmaschine und Blockdruckwerk (zwei 16-stellige Wörter)*

Die Ermeth wurde aus den Erfahrungen mit der ZUSE Z 4 und Aikens Mark IV entworfen, insbesondere inbezug auf leichte Programmierung und Indexregister.

Literatur:	*A. Speiser: Entwurf eines elektronischen Rechengerätes unter besonderer Berücksichtigung eines minimalen Materialaufwandes. Birkhäuser Verlag Basel, 1950.*

Entwicklung von Rechenanlagen in Polen

Das Instytut Maszyn Matematysznych in Warschau entwickelte und baute die Röhrenrechner

UMC 1: Trommelrechner in Festkomma-Bauweise, Speicherkapazität 4096 Wörter, Leistung 100 Operationen/s, mit 3 Registern und Befehlszählern, Ausgabe durch Blattschreiber
und

ZAM 2: Großrechner für 1000 Operationen/s, mit Nickeldraht-Schnellspeicher und Magnettrommeln, für Fest- und Gleitkomma;
Ein/Ausgabe durch Lochstreifen mit 300 bzw. 30 Zch/s.

Das Forschungsinstitut für elektronisches Rechnen der Polnischen Akademie der Wissenschaften, ZAM PAN, baute den Rechner SKRZAT 1 (elektronischer Digital-Computer für automatische Kontrolle technologischer Prozesse) zur Steuerung chemischer Destillation, Hochöfen., usw.

Code:	*Serie, parallel, binär von* $2^{-1} \ldots 2^{-18}$
Wortlänge:	*1 Wort = 20 Bits = 2 Befehle (jedoch bei Sprungbefehl 1 Wort = 1 Befehl)*
Speicher:	*4096-Worte-Speicher, Programm fest im Speicher, 64 Zellen, durch Drahtführung durch die Ringe eingeführt;*
Ein-/Ausgabe:	*nur über Analog/Digital-Wandler oder Schalter*
Taktfrequenz:	*repetiert 200 kHz*
Leistung:	*Addition, Subtraktion 8000/s, Multiplikation 1500/s*
Bauelemente:	*Ferritkerne; Dioden*
Literatur:	*J. Fiett, J. Gradowski, L. Lukaszewicz, S. Majerski, T. Pietrzykowski, Z. Sawicki: Electronic Digital Computer „SKRZAT 1" for Automatic Control of Technological Processes. IFAC Tagung Moskau (1960), S. 298.*

Über die Entwicklung von Rechenautomaten in der Sowjetunion sind nur geringe Informationen und Abbildungen vorhanden. Es ist jedoch nicht überraschend zu erfahren, daß trotz relativ späten Beginns der Entwicklungsarbeiten dort zur Zeit etwa 18 Firmen mit der Herstellung beschäftigt und zwischen 1000 und 2000 Anlagen in Betrieb sein sollen, ist doch Rußland seit langer Zeit als Heimat großer Mathematiker und bester Schachspieler bekannt, und zwingt doch neben der Raumfahrttechnik auch die Wertschätzung einer zentralen Wirtschaftslenkung zum Einsatz leistungsfähiger Rechenanlagen. Auf die Grundlagenforschung zur Schaltalgebra wurde bereits kurz hingewiesen (s. 5.4.1). Die ersten Modelle der Röhrenrechner wurden durch Vorträge ihrer Urheber bei der Fachtagung Elektronische Rechenmaschinen und Informationsverarbeitung (27.—29. 10. 55) in Darmstadt bekannt; es handelte sich um die Rechenanlage BESM und URAL. Bis 1960 wurden die Typen M 1, M 2, M 3, CEM und STRELA I bis III, mehrere Spezialrechner, die Allzweckmaschine WOLGA in Röhrentechnik und bereits ein erster Transistorrechner RAZDAN gebaut; bis 1964 wurden mehrere moderne Anlagen URAL-4, MINSK-11, 12, 21 und 22 neben älteren erweiterten Typen MINSK-2, ERA und M-20 in Betrieb genommen, ferner ein von A. Svoboda in Prag entwickeltes System EPOS, das von der Lochkartenmaschinenfabrik ARITMA gebaut wird.

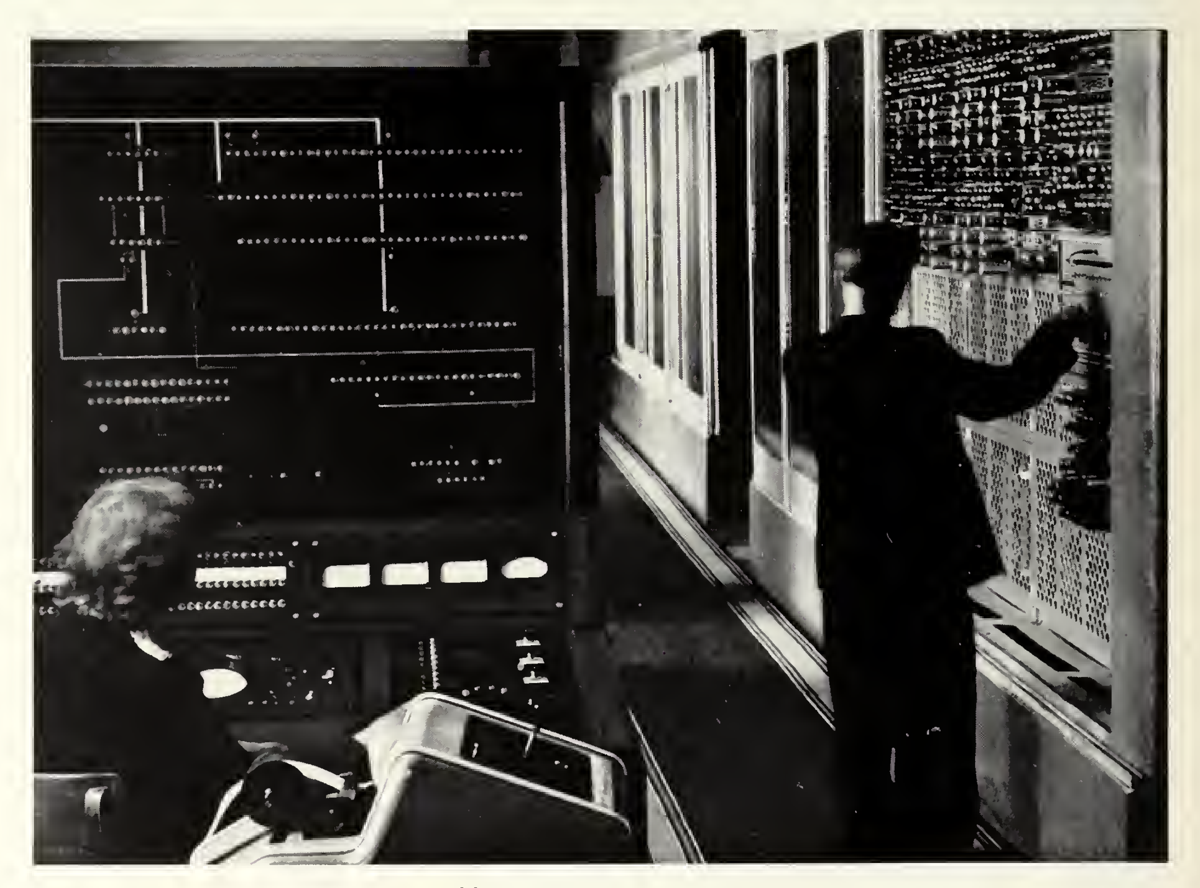


Abb. 84/6.5
Bystrodeistwujustschaja elektronnaja stschetnaja maschina BESM I Moskau

BESM

gebaut von:	*S. A. Lebedev, Akademie der Wissenschaften, Moskau*
Fertigstellung:	*ab 1953; erste russische Rechenanlage*
Arbeitsweise:	*dual, Dreiadreß-Parallelmaschine, Gleitkomma, 31 Befehle (11 Bits Adressen, 5 Operationen), mit Abrundung und doppelter Stellenzahl*
Wortlänge:	*39 Bits (ca. 9 Dezimalstellen)* *(32 Mantisse, 1 Vorzeichen, 5 Exponent, 1 Exponent-Vorzeichen)*
Speicher:	*Zuerst elektrostatische Speicherröhren mit 6,5 µs Zugriffszeit für 1023 Speicherplätze bei Parallelabgriff.* *Später wurden die Speicherröhren durch Magnetkernspeicher (1024 Speicherplätze) ersetzt.* *Magnettrommel: 5120 Speicherwörter in 84 Spuren.* *4 Magnetbandeinheiten zu je 30 000 Wörter, 200 m Bandlänge, 8 Bits/mm, 2 Bahnen für Zahlen und Nummern nebeneinander. 400 Zahlen/s.* *Germanium-Dioden-Register (76 Zellen) für Unterprogramm-Änderung.*
Eingabe:	*Lichtelektrischer Lochstreifen-Leser (20 Zch/s) oder Tastatur*
Ausgabe:	*Kathodenstrahl-Anzeigeröhre und photographische Aufnahme auf Film (200 Zch/s) oder langsames Schreibwerk*
Bauelemente:	*5000 Röhren und 10 000 Dioden*
Leistung:	*Mit 8–10 000 Operationen/s (Add. < 3 µs, Mult. 270 µs) war die BESM zu dieser Zeit die schnellste der Welt. Bei 24stündigem Betrieb sind 20% Prüfungszeit und im Mittel 8% Verlustzeit einzuplanen.*
Literatur:	*V. A. Melnikov: High Speed Electronic Computer BESM. Academy of Sciences of the USSR, Moscow, 1956.* *S. A. Lebedev: Bericht auf der GAMM-NTG-Fachtagung „Elektronische Rechenmaschinen und Informationsverarbeitung", Darmstadt 1955, Nachrichtentechn. Fachber. (NTF) Bd. 4 (1956).*

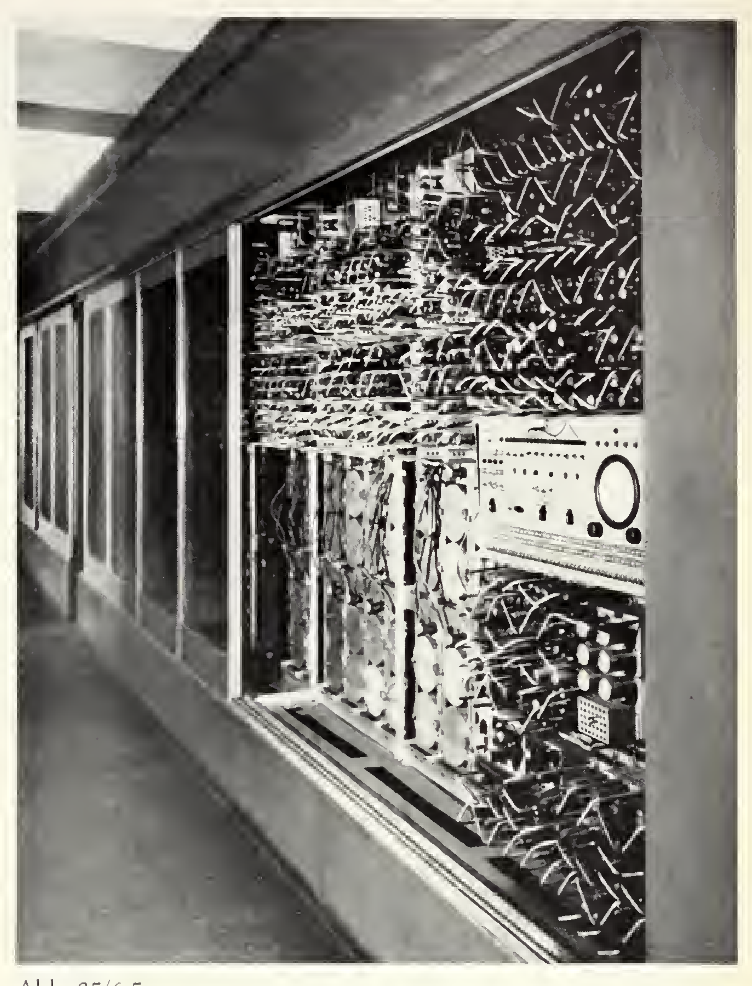


Abb. 85/6.5

Elektrostatische Speichereinheiten der BESM (Speichertrommel siehe Abb. 34/8.3.5.2)

M 20

Charakteristik:	*Große Rechenanlage für wissenschaftlich-technische Berechnungen*
Code:	*dualer Dreiadreß-Rechner für Fest- und Gleitkomma*
Wortlänge:	*45 Bits, 52 Befehle*
Speicher:	*Kernspeicher für 4096 Wörter, 6 µs Zugriffszeit, in Gruppen zu 130 Wörtern mit ihrer Ansteuerung durch magnetische Schaltkreise zusammengebaut;* *3 Magnettrommeln für je 4096 Wörter;* *4 Magnetbandgeräte für je 75 000 Wörter.*
Eingabe:	*Lochkartenleser: (80 Spalten), 60 Karten/min*
Ausgabe:	*Kartenstanzer, 30 Karten/min* *Zeilendrucker, 20 Wörter/s*
Bauelemente:	*3740 bis 4500 Röhren und 2500 bis 3500 Dioden*
Stromverbrauch:	*50 kW*
Platzbedarf:	*370 m²*
Leistung:	*bei Festkomma für Addition und Subtraktion 28,5 ms, für Multiplikation 70 ms, für Division 1365 ms.*
Literatur:	*Bürotechnik und Automation (1964) Nr. 4, S. 110.*

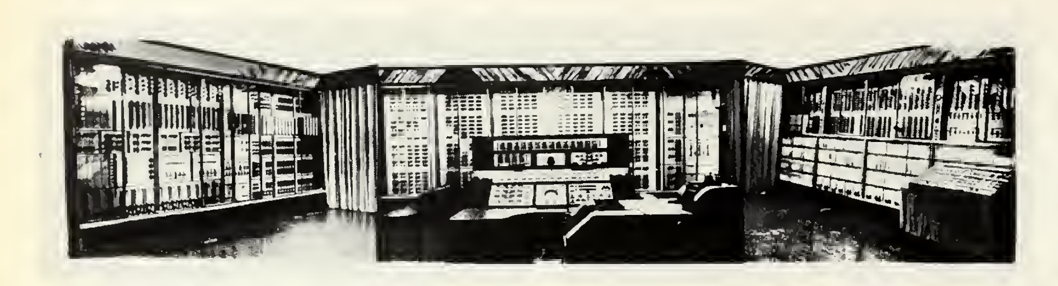


Abb. 86/6.5
Universale Rechenmaschine Typ STRELA („Pfeil")



STRELA

gebaut von:	*J. J. Basilewski, Akademie der Wissenschaften, Moskau*
Fertigstellung:	*1953 erste Anlage, in kleiner Serie weitergebaut*
Code:	*dual, Dreiadreß-Parallelmaschine*
Wortlänge:	*43 Bits (10-11 Dezimalstellen), Gleitkomma*
Speicher:	*2 Magnetbandgeräte für 125 mm breites Band, 100 m lang, für je 100 000 Wörter* *43 elektrostatische Speicherröhren für 2047 Speicherwörter*
Ein-/Ausgabe:	*Lochkarten, gesonderte Tabelliermaschine*
Bauelemente:	*6400 Röhren, mehr als 10 000 Dioden*
Stromverbrauch:	*150 kW*
Platzbedarf:	*200 m²*
Leistung:	*ca. 2000 Operationen/s*
Literatur:	*A. I. Kitov und N. A. Krinitskii: Electronic Computers. Pergamon Press, 1962.*

URAL

erbaut von:	*B. I. Ramejew u. J. J. Basilewski am Forschungsinstitut des Ministeriums für Maschinen- und Apparatebau.*
Fertigstellung:	*ab 1954, ab 1956 in Serie gebaut*
Charakteristik:	*Kleiner Universalrechner für ingenieurtechnische Untersuchungen*
Code:	*dual, Einadreß-Serien-Parallelmaschine*
Wortlänge:	*36 Bits (= 10 Dezimlastellen)* *30 Operationsbefehle*
Speicher:	*Magnettrommel (6000 U/min) 1024 Speicherplätze (oder 2048 Befehle), Speicherdichte 4 Bits/mm*
Programm-eingabe:	*durch Lochfilm von 35 mm Breite für 2 m/s Geschwindigkeit, 4500 Wörter/min in Endlosschleifen bis zu 300 m.*
Eingabe:	*gelochter 35 mm-Film, lichtelektrisch gelesen*
Ausgabe:	*Schreibwerk mit 100 Zahlen/min, Streifenlocher*
Bauelemente:	*800 Röhren, 3000 Dioden*
Stromverbrauch:	*8 kW*
Platzbedarf:	*40 m²*
Leistung:	*ca. 100 Operationen/s; Division 40 ms*

Diese Maschine wurde in Serie mit über 300 Stück gebaut. Ab 1959 wird das Modell „URAL II" gebaut und auch zum Export angeboten; es stehen davon je 1 Exemplar in China, Ghana, Indien, Rumänien, Syrien, ferner mehrere in der CSR und in Polen. Beispielsweise besitzt die Moskauer Bauhochschule allein vier URAL beider Typen für Forschung und Lehre. Ihr Preis soll ca. 450 000 Rubel sein.

URAL II hat 39 Bits, arbeitet mit Fest- und Gleitkomma, leistet 5000 Op/s, speichert in einer Magnettrommel bis 16 000 Wörter und im Kernspeicher mehr als 2000 Wörter; hat Lochkarten-Ein/Ausgabe und Schnelldrucker für 20 Zeilen/s mit 16 Ziffern/Zeile sowie Magnetbandspeicher.

Ein neueres Modell URAL IV wird ab 1963 installiert und ist nicht

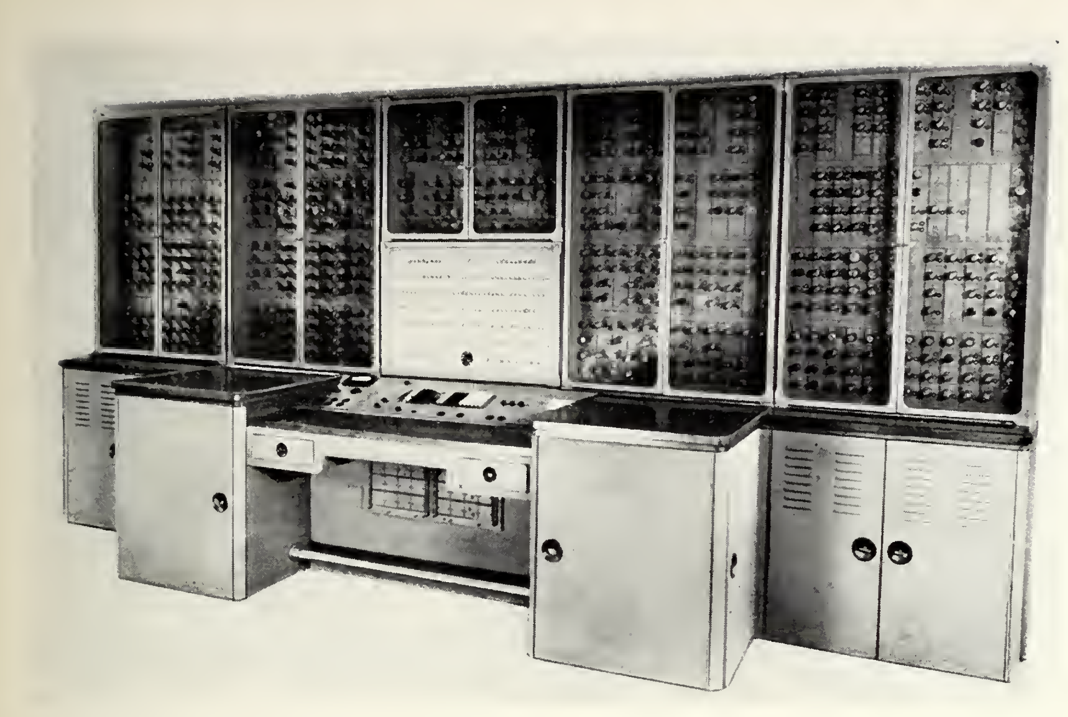


Abb. 87/6.5
Kleine universelle Maschine URAL

mehr nur für wissenschaftlich-technische, sondern auch für kaufmännische Datenverarbeitungs-Aufgaben brauchbar.
URAL IV besitzt 4-bit Dezimal- oder 6-bit alphanumerischen Code, erreicht 5000-6000 Operationen/s in Fest- oder Gleitkomma-Rechnung,
liest 5-Spur-Fernschreib-Lochstreifen mit 400 Zch/s,
druckt 300 Zeilen/min alphanumerisch (63 Zch, 128 Zch/Zeile),
speichert im Kernspeicher 2048 Wörter zu je 40 Bits,
in 8 Magnettrommeln je 16 384 Wörter,
in Magnetbändern mit Lesegeschwindigkeit von 2400 Wörter/s,
Kostet ca. 850 000 Rubel.

Literatur:	*Datamation August 1962 S. 57. A. I. Kitov und N. A. Krinitskii: Electronic Computers. Pergamon Press 1962.* *J. J. Basilewski: in NTF Bd. 4 (1956)*
POGODA	
Fertigstellung:	*1955*
Code:	*dual, in zwei Ausführungen mit 10 Dezimalstellen (wahlweise 5 Dezimalstellen) Wortlänge zu beschreiben* *len (wahlweise 5 Dezimalstellen) Wortlänge zu beschreiben*
Leistung:	*100 arithmetische Operationen/s (200), Einadreß-Befehle*
Speicher:	*Magnetbandspeicher* *1 000 Speicherplätze (2000)* *Lochfilm (35 mm)* *15 000 Speicherplätze (30 000)*
Bauelemente:	*370 Röhren*
Stromverbrauch:	*5 kW*
Platzbedarf:	*30 m²*
Verwendung:	*Aufgaben der linearen Algebra, Reihenentwicklungen und Reihensummationen.*
Zubehör:	*2 Streifenlocher*



Abb. 88/6.5
Spezialrechner für die Meteorologie POGODA („Wetter")

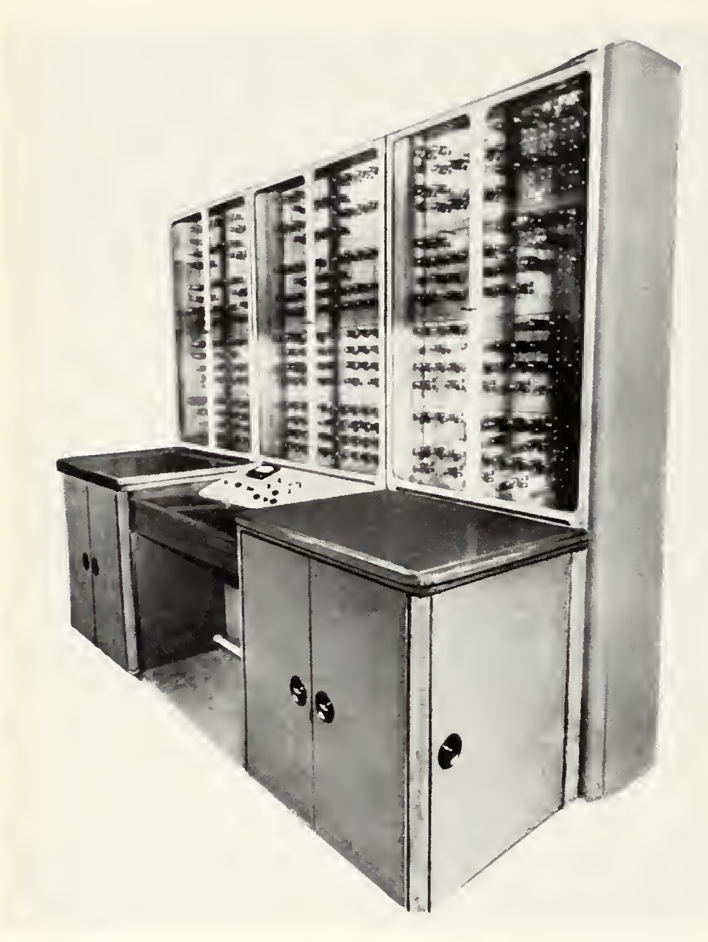


Abb. 89/6.5
Spezialrechenmaschine KRISTALL

KRISTALL

Fertigstellung:	*1955*
Code:	*dual mit Festkomma*
Leistung:	*100 arithmet. Operationen/s*
Bauelemente:	*350 Röhren*
Stromverbrauch:	*5 kW*
Platzbedarf:	*30 m²*
Verwendung:	*Spezialrechner für Rechnungen auf dem Gebiet der Röntgen-Strukturanalyse*
Zubehör:	*2 Locher, Drucker.*

Elektronische Spezial-Ziffernrechenmaschine „Nr. 12"

Fertigstellung:	*1955*
Code:	*dual*
Speicher:	*Magnettrommel*

Die Wortlänge und die Speicherplatzzuordnung sind variabel und können der Aufgabe entsprechend gewählt werden.

Bauelemente:	*690 Röhren, 170 Relais*
Verwendung:	*Die Maschine ist für die numerische Lösung gewöhnlicher Differentialgleichungen bei gegebenen Anfangsbedingungen bestimmt.*

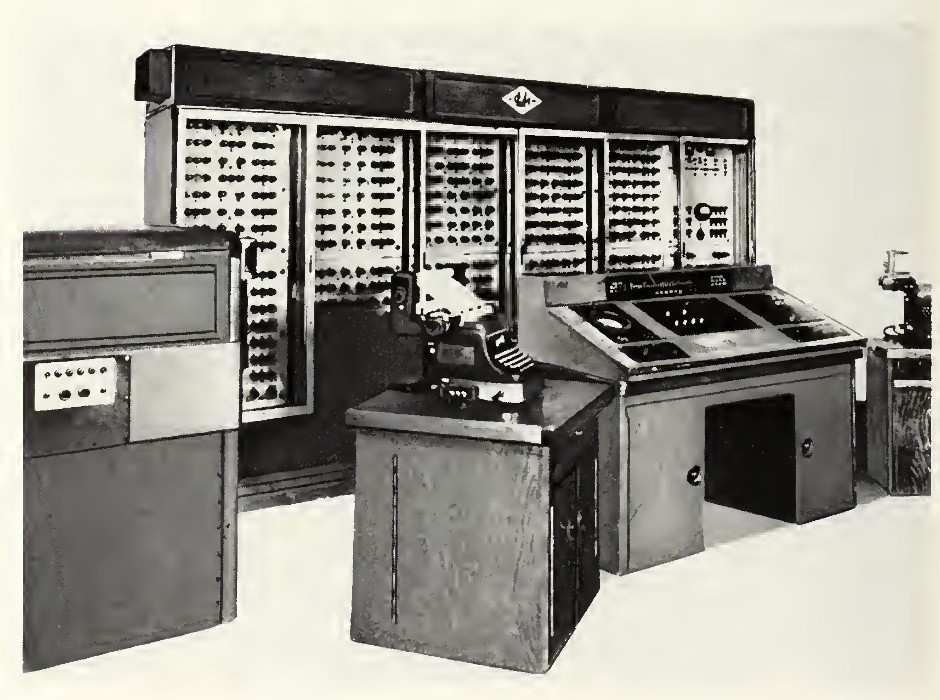


Abb. 90/6.5
Elektronische Spezial-Ziffernrechenmaschine „Nr. 12"

Vakuumröhren fanden in Japan nur in wenigen Uechenanlagen Verwendung, weil noch während der Entwicklung der großen Relaisrechner (*ETL Mark I*, 1952, siehe 5.6.6, und *ETL Mark II*, siehe Abb. 39—41/5.6.6) die *Parametron*-Schaltung erfunden wurde (siehe 8.1.5). Dieses bistabile Element besteht nur aus einem Kondensator, einem Widerstand und einem bewickelten Magnetkern und ist äußerst zuverlässig und preiswert. Es nimmt daher nicht wunder, daß 1959 die Hälfte aller japanischen Rechenanlagen mit Parametrons gebaut wurde. Außer dem im Bilde (94/6.6) gezeigten *NEAC-1101* (April 1958) sind es die folgenden:

MUSASINO-1 von Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation mit 6 kHz Taktfrequenz	(März 1957)
HIPAC-1 von Hitachi Electric Co. mit 10 kHz Taktfrequenz	(Aug. 1957)
PC-1 von Universität Tokio mit 15 kHz Takfrequenz	(März 1958)
SENAC-1 von Electr. Comm. Lab. mit 20 kHz Taktfrequenz	(Nov. 1958)
PC-2 von Universität Tokio mit 100 kHz Taktfrequenz.	(Aug. 1960)

Diese Anlagen erreichen Additionszeiten von 10 ms bis 40 μs; dazu ist eine Pumpfrequenz zur Erregung der Parametron-Schwingung von 2 MHz (außer beim PC-2: 6 MHz) erforderlich. Die Notwendigkeit eines Hochfrequenz-Generators ist besonders beim Aufbau kleiner Rechenanlagen wegen des Aufwands von Nachteil, ebenso der begrenzte Rechentakt. Die Entwicklung von schnelleren Parametrons mit dünnen Magnetfilmen und mit Halbleiter-Dioden als variable Kapazitäten schien erfolgversprechend, doch sind die neueren Anlagen in der Mehrzahl in Transistor-Bauweise erstellt.

TAC Tokyo Automatic Computer

gebaut von:	*Tokyo Shibaura Electric Manufacturing Comp.*	
Fertigstellung:	*1956*	
Code:	*dual, Serienmaschine*	
Wortlänge:	*35 Bits*	
Speicher:	*8 Speicherröhren*	*(512 Speicherplätze)*
	Magnettrommel	*(1536 Speicherplätze)*
Taktfrequenz:	*250 kHz*	
Bauelemente:	*1200 Röhren, 2400 Dioden*	
Rechenleistung:	*Multiplikation 8,4 ms*	
Verwendungszweck:	*Wissenschaftliche Berechnungen der Universität Tokio.*	



Abb. 91/6.6
Tokyo Automatic Computer TAC

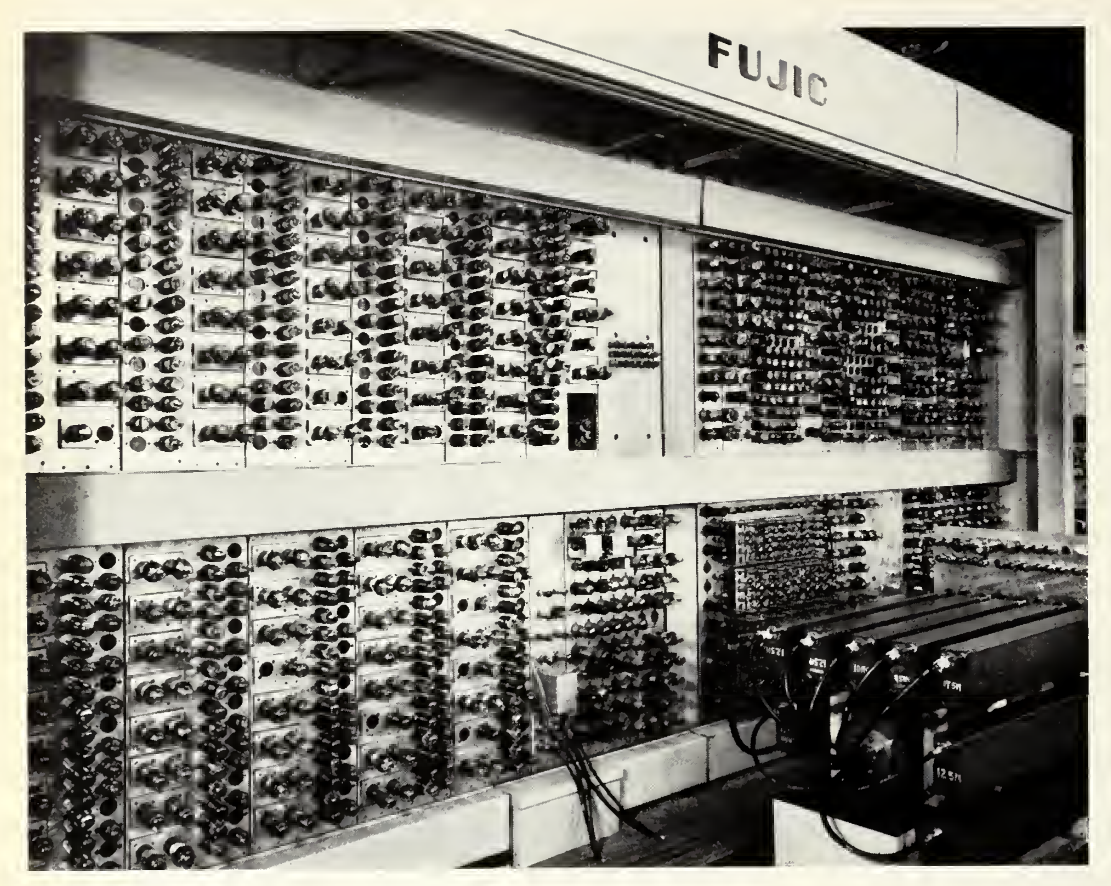


Abb. 92/6.6
Fuji Computer FUJIC

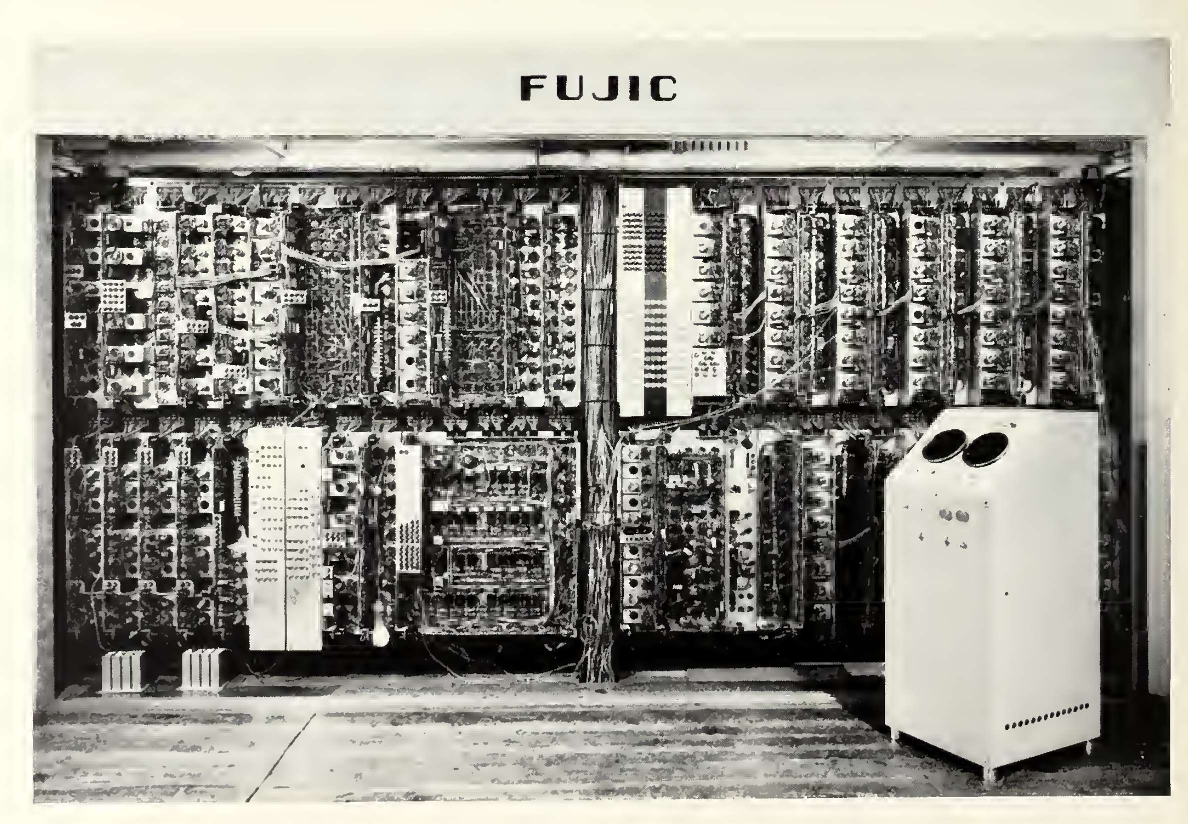


Abb. 93/6.6
Rückansicht mit Verdrahtung der Röhrengestelle



Abb. 94/6.6
Nippon Electric Automatic Computer NEAC-1101 (Parametron-Rechner)

FUJIC Fuji Computer

gebaut von:	*Fuji Photo Film Comp.*
Baubeginn:	*1952*
Fertigstellung:	*1956*
Code:	*dual, Parallelmaschine*
Wortlänge:	*32 Bits*
Speicher:	*Quecksilber-Verzögerungsstrecken (255 Speicherplätze)*
Taktfrequenz:	*30 kHz, 1,1 MHz im Speicherwerk*
Bauelemente:	*1600 Röhren*
Rechenleistung:	*Multiplikation 1,6 ms*

Ursprünglich wurde die Anlage für Probleme der Optik gebaut.

NEAC-1101 Nippon Electric Automatic Computer (Parametron-Rechner)

gebaut von:	*Nippon Electric Co., Central Laboratory, Kawasaki*
Fertigstellung:	*1958*
Code:	*dual, Parallelmaschine*
Wortlänge:	*32 Bits*
Speicher:	*Ferritkernspeicher, 128 Wörter*
Bauelemente:	*3600 Parametrons, 320 Röhren*
Frequenz:	*Erregung des Parametrons 2 MHz* *Schaltfrequenz 20 MHz*
Rechenleistung:	*Addition 3,5 ms, Multiplikation 8 ms*
Stromverbrauch:	*5 kW*

Literatur:

S. Muroga und K. Takashima: The Parametron Digital Computer MUSASINO-1. IRE Trans. Electronic Computers EC-8 (1959) No. 3, S. 308–316.

Hideo Yamashita: Digital Computer Development in Japan. In: W. Hoffmann: Digitale Informationswandler. Vieweg Verlag Braunschweig 1962.

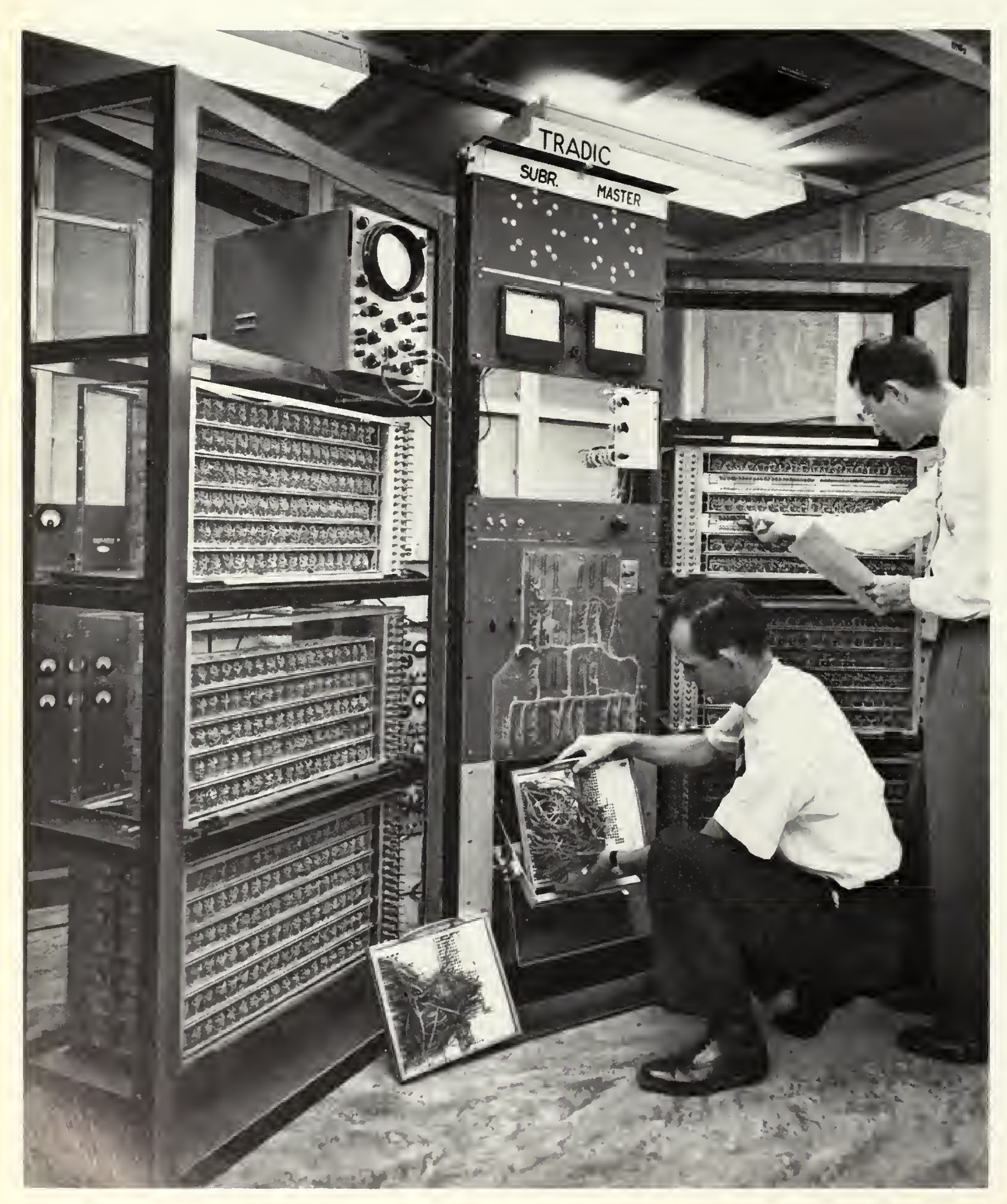


Abb. 1/7.1
TRADIC: erster Transistorrechner
„Nach einer Pressenotiz vom März 1955: TRADIC, ein neuer Digital-Computer, von Bell Telephone Laboratories entwickelt, enthält etwa 800 Transistoren anstelle von Vakuumröhren. Vollständig kalte Transistoren als hochleistungsfähige, Verstärkergeräte, die in den Bell Laboratories erfunden wurden, befähigen die Maschine, mit weniger als 100 Watt, d.i. einem Zwanzigstel des Stromes zu arbeiten, der bei vergleichbaren Computern benötigt wird. Die Anweisungen für den Computer werden mittels einer Steckeinheit gegeben, die Zifferneingabe der Binärziffern erfolgt durch Schalter. TRADIC wurde unter der Leitung von J.H. Felker entwickelt. Wenn die Aufbauarbeiten beendet sein werden, wird der Computer voraussichtlich kaum drei Kubikfuß Raum benötigen".

7 *Rechenanlagen in Halbleiter-Bauweise*

Mit Verwendung der Halbleiter-Transistoren als Schaltelemente beginnt die sogenannte „zweite Generation" der EDV-Anlagen; als „dritte Generation" bezeichnet man die Modelle mit integrierten Mikrobauelementen.

7.1 *Einige Beispiele von Rechen- und Datenverarbeitungsanlagen in Halbleiter-Bauweise*

In den USA wuchs die Anzahl der zu kommerziellen Zwecken verwendeten Rechenanlagen sprunghaft an, nachdem durch die Halbleitertechnik ihre Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit wesentlich schneller stiegen als ihre Größe und Preislage. Der Vorsprung der alten Hersteller aus der Rechen- und Büromaschinenbranche (IBM und Remington, dann Burroughs, National Cash, Monroe u. a.) in der Marktposition blieb erhalten; vielen kleineren Entwicklungsfirmen mit durchaus zweckmäßigen Anlagen fehlten die Mittel und Möglichkeiten für ein vergleichbares Angebot an Programmen und Programmierunterstützung, an Kundendienst und Werbung. Nur einer Neugründung (Control Data Corp.) gelang der Durchbruch zu einer starken Position. Die großen Firmen der Elektrobranche (wie General Electric und Radio Corp. of America) sowie spezielle Computer-Hersteller (wie z. B. Honeywell) haben ebenfalls ein breites Sortiment von Rechenanlagen entwickelt. Die Tendenz geht in Richtung auf „Real Time"-Verarbeitung zur Prozeßsteuerung, auf gute Ausnutzung des Rechners erst durch überlappte Programmteile, dann durch verschachtelte Bearbeitung zweier und mehrerer Programme unter Steuerung durch ein Hauptprogramm, auf immer größere Speicherkapazitäten sowohl mit schnellem Zugriff (Großkernspeicher) wie auch in Form von Magnetplatten- und streifenspeichern mit wahlfreiem Zugriff, und auf miniaturisierte und integrierte Logikelemente.

Es kann in diesem Abschnitt noch weniger als in dem vorangehenden Kapiteln an eine vollständige Aufzählung, Beschreibung und Abbildung aller auf dem Markt befindlichen Rechner-Modelle gedacht werden; dies würde auch der Zielsetzung dieser Abhandlung über die Entwicklungsgeschichte völlig widersprechen.



Abb. 2/7.1
IBM RAMAC 305 „Random Access Memory Accounting Computer"
Bis 1963 wurden in Europa etwa 80 Stück aufgestellt.

Abb. 3/71
IBM 305 im Bau im Werk Sindelfingen der IBM

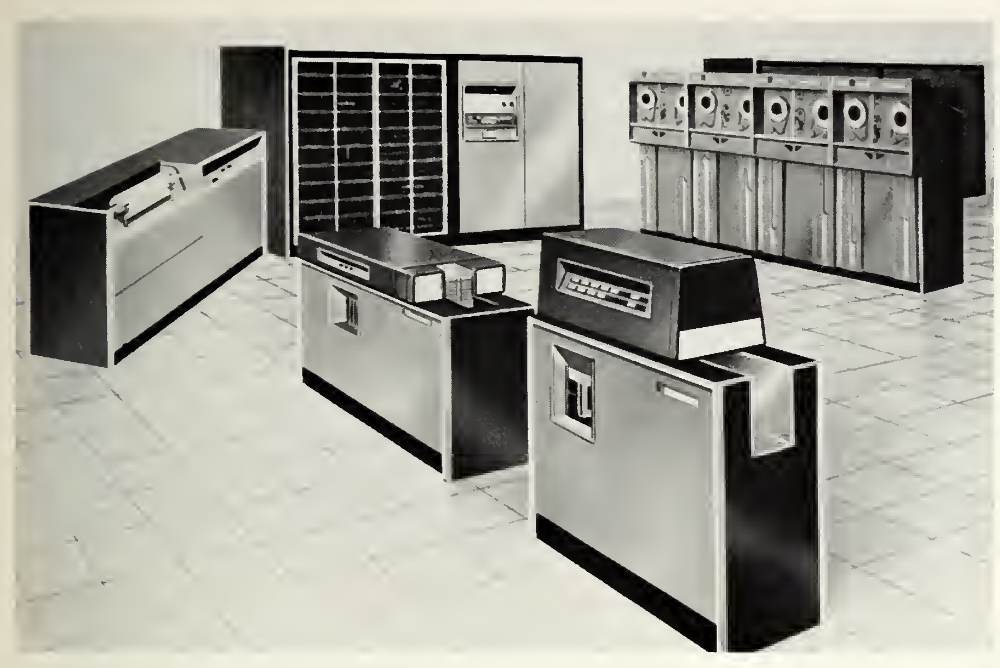


Abb 4/7.1
RR – UNIVAC UCT-System (mit Magnetbandeinheiten)
1958 erste Anlage geliefert an Dresdner Bank Hamburg; im Mai 1962: 500 Stück.
Magnettrommel: 5000 bis 9200 Wörter, je nach Stellung 0,4 bis 1,7 ms Zugriffszeit; Magnetverstärker (keine Transistoren); Lochkartenleser: für 27–36 000 K/Std. = 7,8 — 10 K/s; Stanzer: 9000 K/Std., auch für schmale Abschnitte; Schnelldrucker: 10 Zeilen/s; Addition: 11 700/s = 85 μs; erweiterbar mit Kernspeicher, Magnetbandgeräten, Lochstreifenleser (400 Zch/s) und -locher (100 Zch/s).
„Randex"-Großraumtrommeln mit je 24 Mio Zch Speicherkapazität und Zugriffszeiten von 125 bis 540 ms zum Modell UCT II.



Abb. 5/7.1
UNIVAC UCT

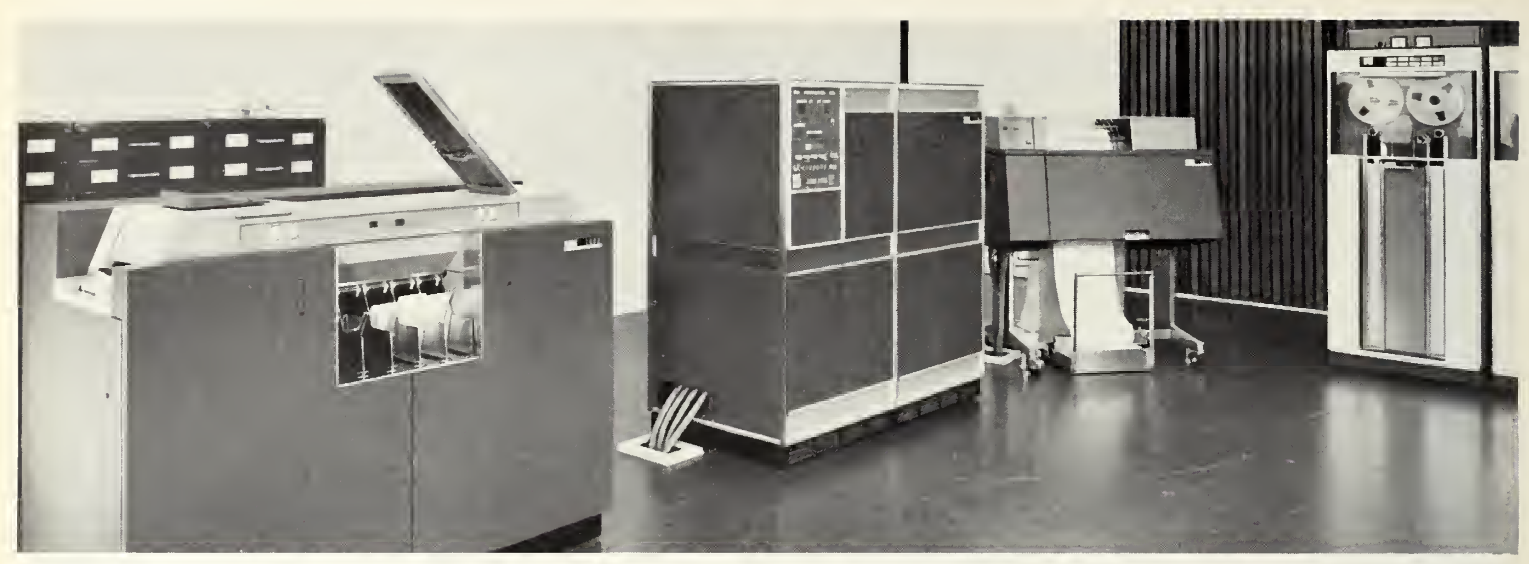


Abb. 6/7.1
IBM 1401 geliefert seit 1959; bis 1963 etwa 1250 in Europa aufgestellt. Monatsmiete um 25 000,– DM.

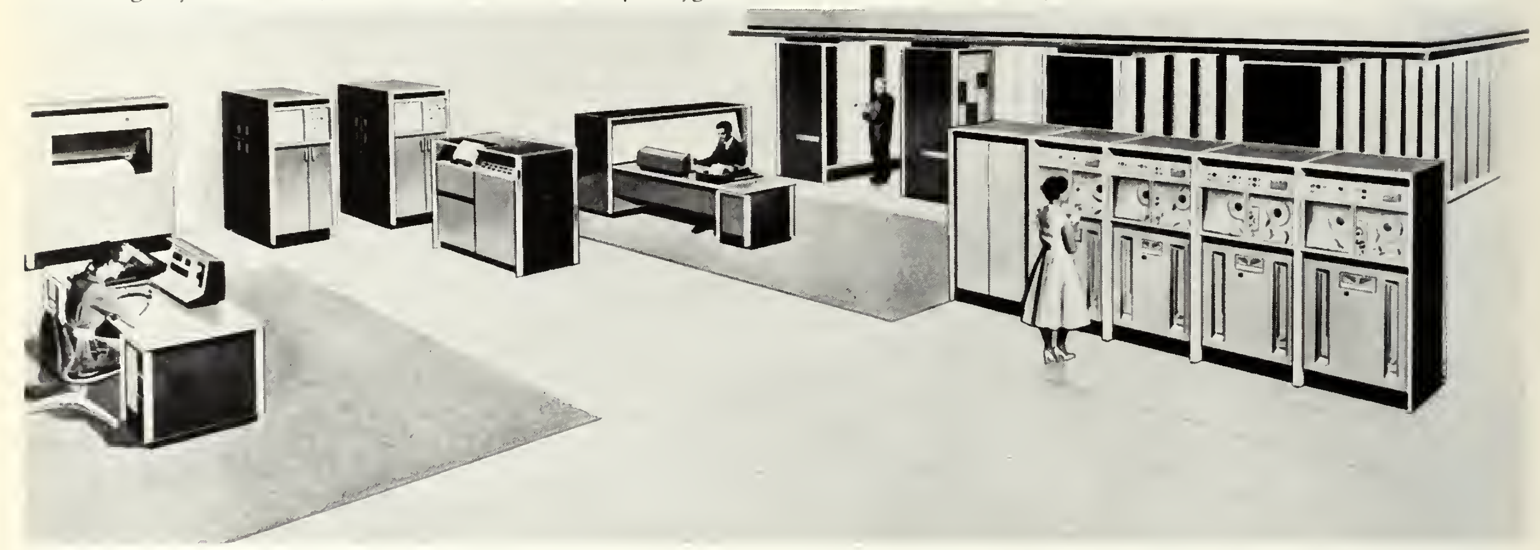


Abb. 7/7.1
UNIVAC LARC (1960) Schneller Parallel-Festkomma-Rechner (160 000 Add/s).



Abb. 8/7.1
UNIVAC AC 490 „Real Time"-System, d. h. Process-Control Computer, z. B. für Flugsitzreservierung u. dgl., ab 1962 mit Randex-Großraumtrommel für 24 Mio Zch; auch mit Magnetplattenspeicher mit 8, 16, 24 Platten bzw. mit 236, 472, 708 Mio Zch; durchschnittliche Zugriffszeit 0,1 s.



Abb. 9/7.1
IBM 7090 Großrechenanlage (mit IBM 1401 als schnelles Ein/Ausgabesystem) im Deutschen Rechenzentrum Darmstadt (ab Juli 1963).



Abb. 10/7.1
Burroughs D 825 Rechnersystem für Flugüberwachung, die erste Großanlage mit Dünnfilmspeicher (0,2 μs Zugriffszeit).



Abb. 11/7.1
IBM System/360, gekennzeichnet durch Mikromodul-Bauelemente.

Mit diesen EDV-Anlagen ist der Stand der Technik erreicht, für den das Schlagwort „Dritte Generation" geprägt wurde. Zuverlässigkeit der miniaturisierten Halbleiter-Bauelemente, Taktfrequenz und damit Rechenleistung und Speicherkapazitäten genügen höchsten Ansprüchen, doch wird die Ausarbeitung der für ihre Ausnutzung erforderlichen „Software" an Programmen eine immer mehr zum Engpaß werdende Aufgabe.

In England

Als Beispiel für eine britische Hochleistungs-Rechenanlage sei der Ferranti-ATLAS herausgegriffen.

Die Entwicklungsarbeiten begannen 1958 in engster Zusammenarbeit mit der Universität Manchester (Prof. F. C. Williams, T. Kilburn). Der Prototyp war 1960 fertiggestellt, die erste Maschine aus der Serie wurde am 7. 12 1962 in der Universität in Betrieb genommen. Zwei weitere sind gleichzeitig für die Universität London und für das Atomforschungsinstitut Harwell im Bau.

Der Rechner arbeitet parallel im Dualsystem mit 48 Bits Wortlänge, bei Gleitkommarechnung sind 7 Bits + Vorzeichen für den Exponenten vorgesehen, der im Oktalsystem verschlüsselt ist. Operationszeiten sind für Addition 2,5 μs, für Multiplikation 5 μs, für Division 20 μs. Der Rechenspeicher mit 2 μs Zugriff faßt 16 384 Wörter, 4 Magnettrommeln zusammen 98 304 Wörter.

Ein Festwertspeicher (s. Abb 74/9.3) für 8192 Wörter besteht aus einer Matrix von Treiber- und Lesedrähten, in deren Maschen sich ein Speicherstäbchen einstecken läßt; ein Stäbchen aus Ferrit definiert eine binäre 1, eines aus Kupfer eine 0. Damit ist eine Zugriffszeit von 0,3 μs erreicht. Ein Viertel dieser Speicherkapazität ist durch Standard-Unterprogramme belegt, der Rest durch ein „Supervisor"-Programm.

Das Befehlswort enthält 10 Bits für die Operation, je 10 Bits für 2 Indexregister und 24 Bits für die Adresse.

Literatur: *P. Läuchli: ATLAS – die neue Großrechenanlage. Neue Zürcher Zeitung 7. 3. 1963.*

*Rechenanlagen in England, Stand Januar 1961 **

Name	Hersteller	geliefert bzw. geplant ab	geliefert bzw. geplant Anzahl ca.	Taktfrequenz KHz	Schaltelement	Wortlänge	Speicherart	Zugriffszeit μs
LEO III	LEO Computers Ltd.	1961	—		Transistor, Diode	42 Bits	Kernspeicher	7
PEGASUS	Ferranti Ltd.	1956	28	333	Vakuumröhre	39 Bits	Nickel-Verzögerungsstrecke	0
							Trommel	8000
MERCURY	Ferranti Ltd.	1957	19	1000	Vakuumröhre	10—20—40 Bits	Kernspeicher	2
							Trommel	10 000
PERSEUS	Ferranti Ltd.	1958	2	333	Vakuumröhre	72 Bits	Nickel-Verzögerungsstrecke	234
SIRIUS	Ferranti Ltd.	1959	1	500	Transistor, Kern	10 Dezimalstellen	Nickel-Verzögerungsstrecke	4000
ARGUS	Ferranti Ltd.	1960	1	500	Transistor, Diode	12 Bits	Kernspeicher	2
							Trommel	12 000
ORION	Ferranti Ltd.	1961	—	500	Transistor, Kern	48 Bits	Kernspeicher	6
							Trommel	12 000
APOLLO	Ferranti Ltd.	1961	—	500	Transistor, Diode	24 Bits	Kernspeicher	2
MUSE (ATLAS)	Ferranti Ltd. und Manchester University	1961	—		Transistor, Diode	48 Bits	Kernspeicher	0,5
							Trommel	6000
803	Elliott Brothers	1959	5	166,5	Transistor	39 Bits	Kernspeicher	
503	Elliott Brothers	1962	—		Transistor	39 Bits	Kernspeicher	

Name	Hersteller	geliefert bzw. geplant ab	Anzahl ca.	Taktfrequenz KHz	Schaltelement	Wortlänge	Speicherart	Zugriffszeit μs
EMIDEC 1100	EMI Electronics Ltd.	1960	4	100	Transistor	36 Bits	Kernspeicher	10
							Trommel	15 000
EMIDEC 2400	EMI Electronics Ltd.	1961	—	1000	Transistor, Diode	36 Bits	Kernspeicher	5
							Diode-Kondensator	1,5
ICT 1200 ICT 1201 ICT 1202	ICT	1955	57	40	Vakuumröhre	40 Bits	Trommel	10 000
ICT 1301	Computer Development Ltd. (ICT & GEC)	1961	—	1000	Transistor, Diode	12 Dezimalstellen	Kernspeicher	4
							Trommel	486
STANTEC ZEBRA	Standard Telephones and Cables	1957	32	100	Vakuumröhre	33 Bits	Trommel	5000
STANTEC SYSTEM	Standard Telephones and Cables	1960	—	128	Transistor	33 Bits	Kernspeicher	7
							Trommel	5000
DEUCE	English Electric	1955	30	1000	Vakuumröhre	32 Bits	Quecksilber-Verzögerungsstrecke	496
							Trommel	15
KDF—9	English Electric	1962	—	2000	Transistor, Kern Diode	48 Bits	Kernspeicher	Hauptspeicher 3

*) *Diese und die folgenden Tabellen sind entnommen:*
Auerbach: European Electronic Data Processing – A Report on the Industry and the State-of-the-Art. Proceedings of the IRE, Januar 1961. S. 341–347.



Abb. 12/7.1
Ferranti-ATLAS, fertiggestellt Ende 1961 nach Entwicklungsgrundlagen der Universität Manchester. Arbeitstakt für Addition 4 µs.

Rechenanlagen in Deutschland, Stand Januar 1961

Name	Hersteller	geliefert bzw. geplant ab	Anzahl ca.	Taktfrequenz KHz	Schaltelement	Wortlänge	Speicherart	Zugriffszeit μs
2002	Siemens & Halske AG	1957	8	200	Transistor, Diode	12 Dezimalstellen und Vorzeichen	Kernspeicher	5
							Trommel	19 000
TR 4	Telefunken	1961	—	2000	Transistor, Diode	48 Bits	Kernspeicher	2
							festgelegter Kernspeicher	1
ER 56	Standard Elektrik Lorenz AG	1959	7	100	Transistor, Diode	7 Dezimalstellen	Kernspeicher	5
							Trommel	10 000
Z 22 R	Zuse KG	1958	30	140	Vakuumröhre	38 Bits	Trommel	5000
Z 23	Zuse KG	1961	—	150	Transistor	40 Bits	Kernspeicher	
							Trommel	5000
Z 31	Zuse KG	1962	—	53	Transistor	10 Dezimalstellen und Vorzeichen	Kernspeicher 200–1000 Work	

Abb. 13/7.1

ZUSE Z 23 (entwickelt 1960, vorgestellt 1961) Dualer Trommelrechner





Abb. 14/7.1
ZUSE Z 31 (entworfen 1960, geliefert ab 1962) Dezimaler Rechner auch mit festverdrahtetem Programmspeicher mit je 2500 Befehlen.



Abb. 15/7.1
ZUSE Z 31 mit Zeilendrucker, Bandspeichern und Lochstreifen-Ein/Ausgabe ausgerüstet.



Abb. 16/7.1
ZUSE Z 25 (ab 1963 ausgeliefert) Kleinrechner im Baukastensystem erweiterbar.



Abb. 17/7.1
ER 56 der Standard Elektrik Lorenz AG Stuttgart (ab 1959). Dezimale Anlage, charakterisiert durch elektronischen Koordinatenschalter zur Ansteuerung der Ein/Ausgabe, überlappende Arbeit der Periphergeräte erlaubend.



Abb 18/7.1
Siemens 2002 (ab 1957 ausgeliefert, erste an TH Aachen).

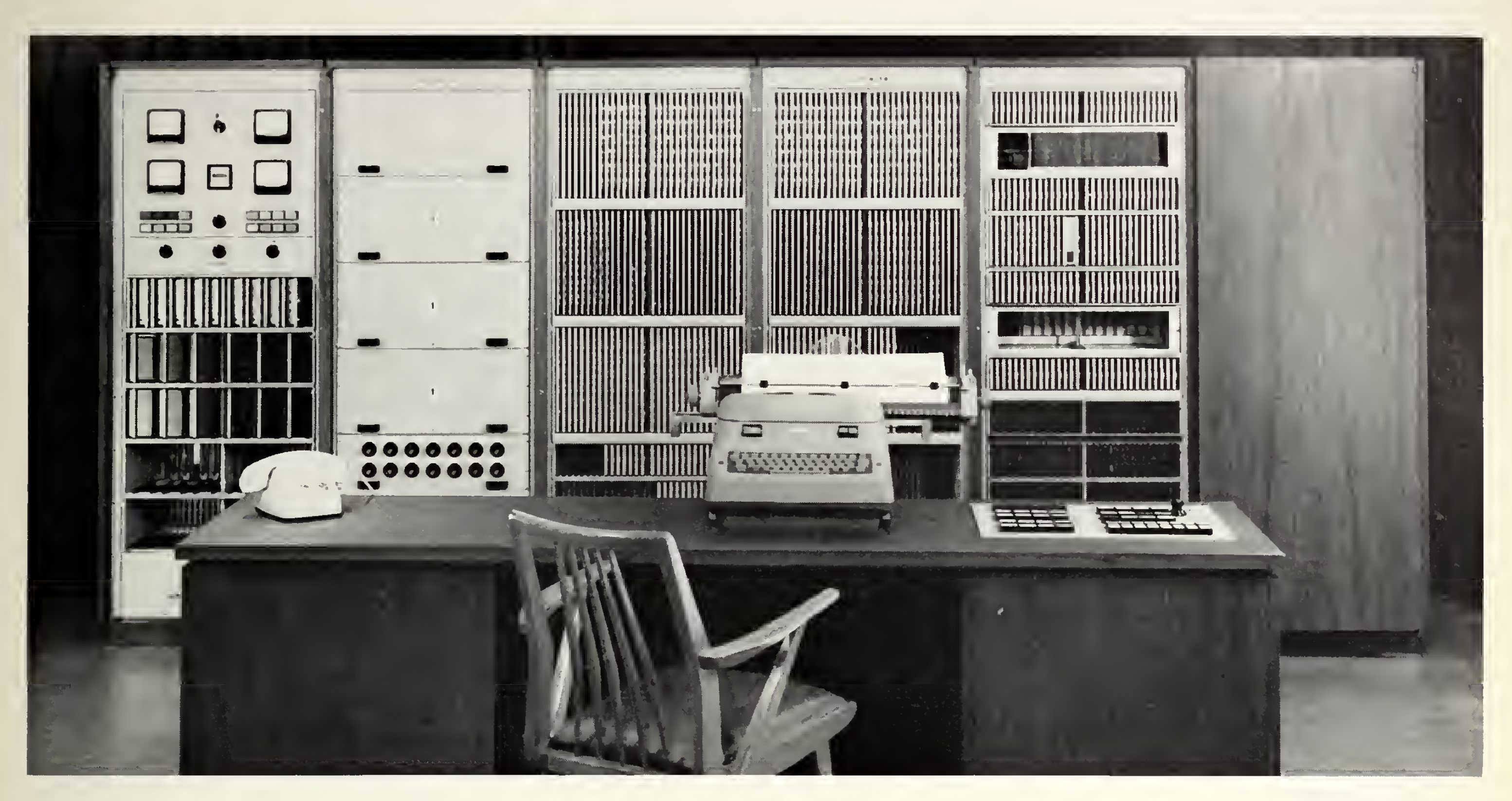


Abb. 19/7.1
Telefunken TR 4 in der Technischen Hochschule Delft, Rechenzentrum; ausgerüstet vorerst nur mit 4 Magnetbandgeräten, 2 Lochstreifenlesern, 2 Lochstreifenstanzern; 8192 Wörter im Kernspeicher; direkt mit Meßplätzen in den Labors verbunden; 8 Programme gleichzeitig zu bearbeiten. Open Shop-Betrieb, Programmierung in ALGOL 60 durch die Benutzer.

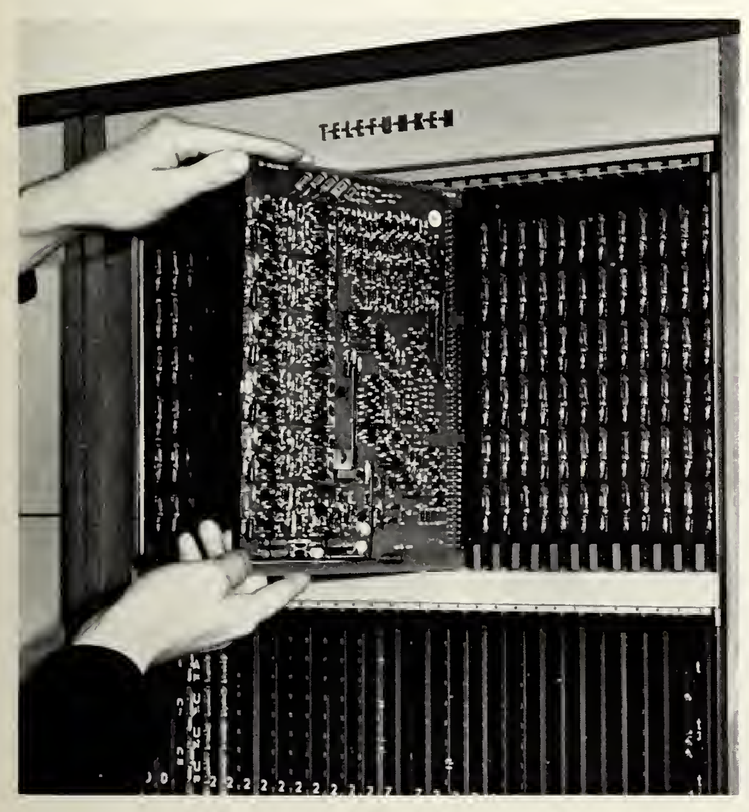


Abb. 20/7.1
Steckeinheiten in gedruckter Schaltungstechnik im Digitalrechner TR 4.

Die Deutschen Hersteller von Rechenanlagen aus der Elektroindustrie hatten mit Aufkommen der Halbleitertechnik die Entwicklung begonnen und mehrere Modelle auf den Markt gebracht; sie sahen sich jedoch bald der Vormacht amerikanischer Großfirmen gegenüber und fanden es vielfach zweckmäßig, sich mit diesen zu verständigen (Siemens vertreibt RCA-„Spectra"-System), oder auf Spezialgebiete auszuweichen. So wendeten sich SEL und Telefunken den Postscheck-Buchungsanlagen, ZUSE der Prozeß- und Betriebssteuerung zu. Trotzdem griffen neuerdings andere Firmen aus der Büromaschinenbranche (z. B. Anker) die Entwicklung von Kleinrechnern für kommerziellen Einsatz, meist in Verbindung mit Magnetkontokarten-Geräten, auf und brachten Anlagen auf den Markt, die sich nach Leistung und Preislage auch gegenüber eingeführten Modellen behaupten konnten (siehe 7.3).

In Frankreich

SEA 3900
(entwickelt von der Société d'Electronique & d'Automatisme, vertrieben durch die Société pour l'Exploitation des Procédés SEPSEA).

Dieser große Transistor-Rechner arbeitet dezimal mit variabler Wortlänge, d. h. Zeichen für Zeichen in Serie; er enthält einen Arbeitsspeicher von 4096 Zeichen zu je 6 Bits mit 6 μs Zugriffszeit und zwei Kanäle zur simultanen Ein/Ausgabe. Es können Lochstreifen- und Lochkartenleser (600 Karten/min), Schnelldrucker (900 Zeilen/min), Magnetbandgeräte (60 Zch/cm je zweimal in unterschiedlicher Anordnung eingeschrieben, 1,5 m/s Bandvorschub) und andere Ein/Ausgabegeräte angeschlossen werden. Additionszeit ist 0,2 ms für fünfstel'ige Zahlen.

CAB 500 (SEA)
Ein dualer Kleinrechner in Schreibtischformat mit Ein/Ausgabe durch Flexowriter-Schreibmaschine mit Streifen-Leser und -Locher (7 Spuren, 10 Zch/s), mit Magnettrommel für 16 384 Wörter zu 33 Bits und 16 Schnellspeichern; aufgebaut mit 360 magnetischen Schaltkreisen „Symmag 200" (gewickelter Ferritkern), 250 Transistoren und 2300 Dioden. Die Leistung liegt bei 0,32 ms für Addition, 60 ms für Multiplikation.

CAB 600
ist eine Erweiterung durch Anschluß von Magnetbandschleifen (siehe Abb. 40/7.3).

KL 901 (Société nouvelle d'électronique)
Kleiner wissenschaftlicher Rechner, rein dual und parallel arbeitend mit 30 Bits/Wort; Rechenzeiten für Addition 10 μs, für Multiplikation i. M. 80 μs. Ferritkernspeicher für 8192 Wörter, bis zu 8 Magnetbandgeräte für 2 Zoll breite Bänder mit 36 Spuren, Ein/Ausgabe über Lochstreifen.

Bull Gamma 60
ist ein großer binär-dezimaler Rechenautomat in Transistor-Bauweise mit 24 Bit Wortlänge, ausgerüstet mit Ferritkernspeicher (98 304 Bits, 11 μs Zugriffszeit), mehreren Magnettrommelspeichern (je 153 600 Zch, 3000 U/min) und Magnetbandgeräten, für Fest- und Gleitkommarechnung (Additionszeit 50 μs), und mit Ein/Ausgabe durch Lochkarten, Lochstreifen und Drucker (300 Karten bzw. Zeilen/min).

Rechenanlagen in Frankreich, Stand 1960

Name	Hersteller	geliefert bzw. geplant ab	Anzahl ca.	Taktfrequenz KHz	Schaltelement	Wortlänge	Speicherart	Zugriffszeit μs
GAMMA 3 ET	Compagnie des Machines BULL	1956	88	280	Vakuumröhre, Diode	maximal 12 Stellen	elektro-magnet. Verzögerungsstrecke	500
							Trommel	10 000
GAMMA 60	Compagnie des Machines BULL	1960	3	2700	Transistor, Diode	6 Zeichen (24 Bits)	Kernspeicher	10
							Trommel	10 000
CAB 3030	Société d'Electronique et d'Automatisme SEA	1958	3	100	Vakuumröhre, Diode	30 Bits	Kernspeicher	6
							Trommel	20 000
CAB 500	Le Matériel Electrique (SEA)	1960	2	220	Magnetschaltung (Symmag)	32 Bits	Trommel	10
							Schieberegister	2,5
SEA 3900	SEA (1963 Mod. B)	1960	2	2000	Transistor, Diode	Variabel	Kernspeicher	6
							Trommel	15 000
CAB 5000	SEA			2000	Transistor, Diode	42 Bits	Kernspeicher	6
							Trommel	10 000
KL 901	SNE	1960	1	200	Transistor, Vakuumröhre, Diode	29 Bits	Kernspeicher	5

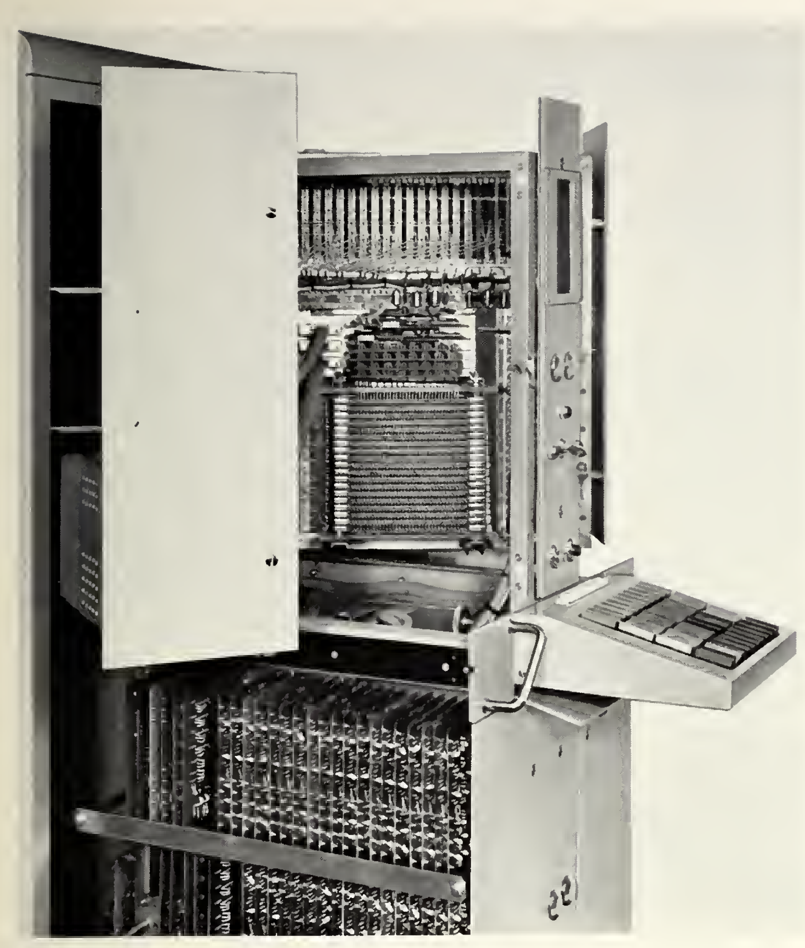


Abb. 21/7.1
SEREL 1001 (Frankreich) (siehe auch Abb. 41/7.3)

Am Centre national d'études des télécommunications (CNET) wurden vor allem zweckgebundene Prozeßrechner für die Automatisierung des Fernmeldeverkehrs entwickelt. Nach einem Versuchsrechner SOCRATE („autocommutateur sémi-électronique") wurde ab 1958 ein Transistorrechner ANTINEA (ähnlich EDSAC, binär, parallel, mit Ferritkernspeicher — halb als Matrix, halb festverdrahtet — von 4000 Wörtern mit 5 μs Speicherzyklus) gebaut und 1960 in Betrieb genommen, danach 1962 bis 1964 RAMSES (mit 7000 Speicherwörtern, davon 3000 fest verdrahtet) und ab 1963 RAMSES II; schließlich RME X 1, ein kleinerer, schneller (1 μs) Rechner, der durch einen induktiven Programmspeicher mit 300 ns Takt für die in Steckkarten realisierten Mikro-Instruktionen gekennzeichnet ist.

Die französischen Entwicklungsfirmen versuchen in der Folge, sich gegenüber der amerikanischen Marktposition durch nationalen Zusammenschluß (CSF + CGE = CITEC/CAE) oder durch Anlehnung an Großfirmen (General-Electric — BULL — Olivetti) oder auch durch Spezialisierung insbesondere auf kleinere und Prozeßrechner zu behaupten.

Literatur: *Marzin, P.: Les calculateurs numériques étudiés au centre national d'études des télécommunications. Onde électrique XLV (Febr. 1965) 455, S. 212–227.*

Rechenanlagen in Holland, Italien und anderen europäischen Ländern, Stand 1963

Name	Hersteller	geliefert bzw. geplant ab	Anzahl ca.	Taktfrequenz KHz	Schaltelement	Wortlänge	Speicherart	Zugriffszeit μs
X 1	N. V. Electrologica Niederlande	1959	25	500	Transistor, Diode	27 Bits	Kernspeicher	
PASCAL STEVIN	Philips Niederlande	1960		500	Vakuumröhre, Transistor, Diode	42 Bits	Kernspeicher	3
							Trommel	0
C. E. P.	Universität Pisa Italien	1960		asynchron	Vakuumröhre, Germaniumdioden, Transistor	36 Bits	Kernspeicher	3,5
							Trommel	10 000
ELEA 6001	Olivetti Italien	1960	44	250	Transistor, Diode, Kern	Variable Ziffernanzahl	Kernspeicher	6
ELEA 9003	Olivetti Italien	1960	23	100	Transistor, Diode	Variable Zeichenanzahl	Kernspeicher	10
							Trommel	10 000
EDB 2 EDB 3	Facit Schweden	1957	5	180	Vakuumröhre, Transistor	40 Bits	Kernspeicher	2
							Trommel	10 000
GIER	Regnecentralen, Dansk Institut for matematik Maskina, Dänemark	1961	1	660	Transistor, Diode	40 Bits, 2 zusätzlich für Wortanzeiger	Kernspeicher	4
							Trommel	500 Blockzugriff
EPOS	(Forschungsinst. für mathemat. Maschinen, Prag) ARITMA, Prag	1959			Vakuumröhre, Diode, später Transistor	12 Dezimalstellen	Kernspeicher	13
							Nickel-Verzögerungsstrecken	

X 1 von Electrologica

gebaut von: *N. V. Electrologica (Niederlande)*

Baubeginn: *1957*

Fertigstellung: *1958*

Code: *dual, Einadreß-Parallelmaschine, Fest- und Gleitkomma-Arithmetik mit verdrahtetem Programm*

Wortlänge: *27 Dualstellen + 1 Prüfbit, enthaltend 1 Befehl, 4 alphanumerische Zeichen oder 5 Buchstaben*

Speicher: *3 Akkumulatoren, 24 Register, Kernspeicher für max. 4096 Wörter, festverdrahteter Kernspeicher für Programme und Informationen für max. 8192 Wörter.*
Magnettrommeln für 524 288 Wörter mit 16 ms mittlerer Zugriffszeit, Magnetbänder (bis 16) an zwei Kanälen.

Leistung: *bei Addition/Subtraktion 32 bis 75 µs, bei Multiplikation/Division 500 µs, beides Festkommarechnung.*

Ein-/Ausgabe: *Lochstreifen-Leser (bis 1000 Zch/s)*
Lochstreifen-Locher (bis 300 Zch/s)
Lochkarten (80 oder 90 Stellen) 42 000 bzw. 7200 K/Std.
Schnelldrucker (10 Zeilen/s).

Raumbedarf: *25 bis 50 m²*

Stromverbrauch: *0,5 bis 2,5 kW.*

Electrologica entwickelte 1963 aus diesem Modell X 1 das größere und schnellere Modell X 8, das in dem 1964 bezogenen neuen Werk Rijswijk hergestellt wird. X 8 ist gekennzeichnet durch 2,5 µs Zykluszeit, 262 144 Kernspeicherwörter zu 27 Dualstellen und einen Additionstakt von 5 µs.

Abb. 22/7.1

Der Computer „Mailüfterl" der Technischen Hochschule Wien.

Erbaut von H. Zemanek am Institut für Niederfrequenztechnik der Technischen Hochschule Wien

Baubeginn:	*Mai 1956*
Fertigstellung:	*Mai 1958*
Code:	*Dezimal (Stibitz-Code), Festkomma 48 Bits Einadreß-Serienmaschine*
Wortlänge:	*10 Dezimalstellen + Vorzeichen und Unterscheidungszeichen*
Befehlswort:	*4 Dezimalstellen für Adresse, 2 für Index, 1 für Bedingungen, 5 Binärstellen für Hauptbefehle, 3 für Zusatzbefehle, 8 funktionelle Binärstellen Die Kombinierbarkeit erlaubt rd. 80 000 versch. Befehle.*
Speicher:	*Magnettrommel, 3000 U/min, für 10 000 Wörter Ferritkernspeicher 50 Wörter*
Taktfrequenz:	*132 kHz, Wortlänge 0,4 ms, Multiplikation 0,4 ms, Division 50 ms (beides durch Programm)*
Bauelemente:	*3000 Transistoren, 5000 Germanium-Dioden*
Ein-/Ausgabe:	*Fotoelektrischer Lochstreifen-Abtaster, Fernschreiber*
Leistungsverbrauch:	*400 W*
Literatur:	*H. Zemanek, Mailüfterl, ein dezimaler Volltransistor-Rechenautomat. Elektrotechn. u. Maschinenbau, 75 (1958)*

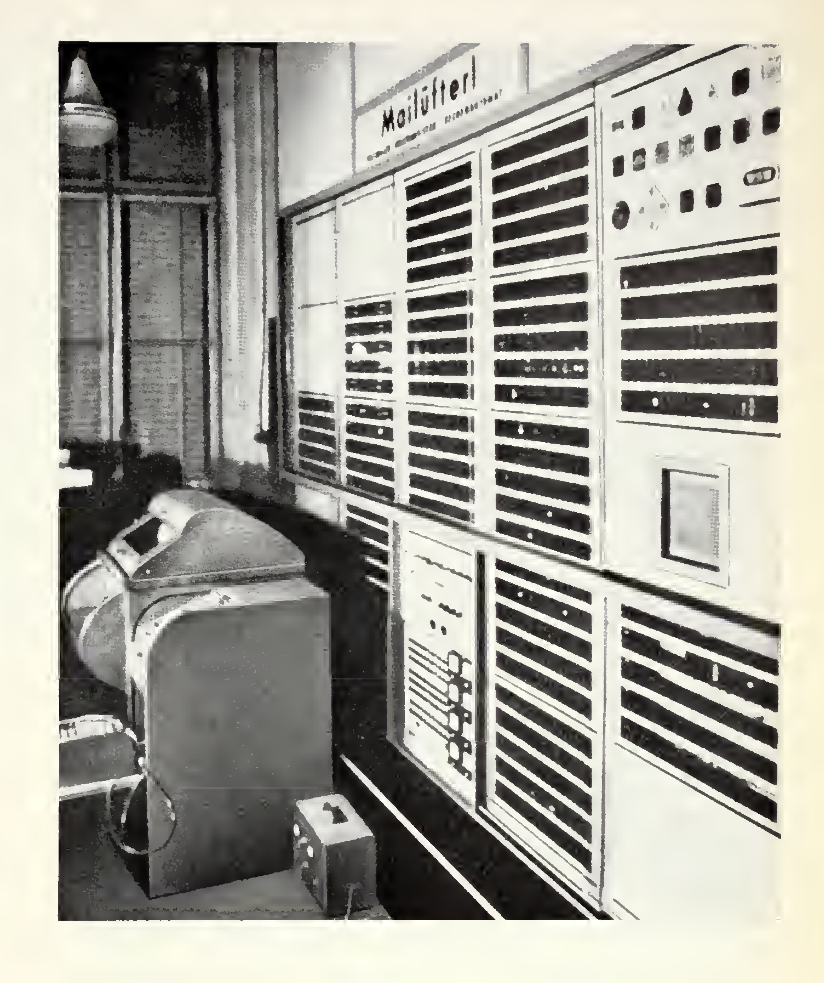




Abb. 23/7.1

X 1 von Electrologica



Abb. 24/7.1
Transistor-Trommelrechner NEAC 2201

Abb. 25/7.1
Hauptgestell des Rechners NEAC 2201

gebaut von:	*Nippon Electric Company Tokyo*
Fertigstellung:	*1958*

Der NEAC–2201 ist ein Nachbau des Rechners ETL Mark IV (siehe 29/7.1)

Code:	*dual – dezimal, Serienmaschine*	
Speicher:	*Schnellspeicher*	*(40 Speicherplätze)*
	Magnettrommel	*(2000 Speicherplätze)*
Bauelemente:	*600 Transistoren*	
	7500 Dioden	
	100 Röhren	

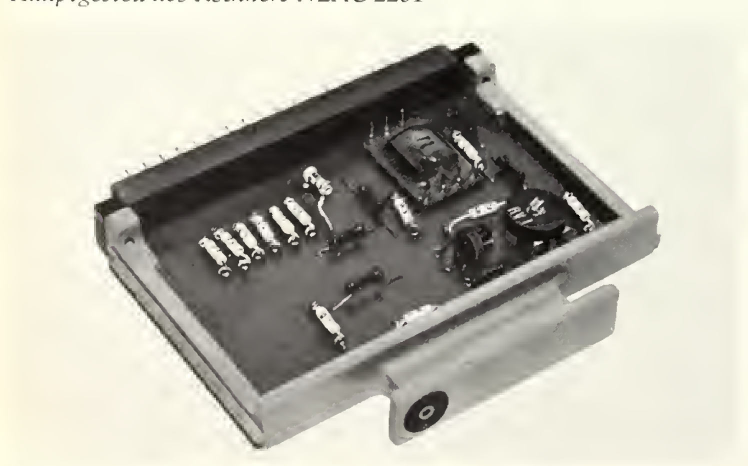


Abb. 26/7.1
Transistor-Einschub NEAC 2201



Abb. 27/7.1
Nippon Electric Automatic Computer NEAC 1102 (SENAC 1)

NEAC 1102

gebaut von:	*Nippon Electric Comp. Tokyo*
Fertigstellung:	*1958*

NEAC 1102 ist eine Weiterentwicklung von NEAC 1101 und wurde für die Universität Tohoku unter dem Namen SENAC 1 gebaut.

Code:	*dual, Parallelmaschine*
Wortlänge:	*48 Bits*
Speicher:	*Magnettrommel (1024 Speicherplätze)*
Bauelemente:	*9000 Parametrons*

Im Juli 1964 wurde von dieser Firma der Prototyp einer sehr schnellen Rechenanlage NEAC-L 2 fertiggestellt, die bei einer Taktfrequenz von 10 MHz mit einem Esaki-Dioden-Speicher arbeitet und eine Leistung von 200 000 Additionen in Festkomma je Sekunde erreicht.

Die drei japanischen Hersteller Nippon Electric, Fuji und Oka haben gemeinsam die EDV-Anlage „FONTAC" entwickelt, die neben der Ende 1964 fertiggestellten ETL-Mark VI (0,5 µs Additionszeit) zu den größten gehören soll.

gebaut von:	*Electrotechnical Laboratory Tokyo*
Fertigstellung:	*1956*

Der Mark III ist als erstes Modell gebaut worden, um neue Transistor-Schaltkreise zu erproben.

Code:	*dual, Serienmaschine*
Wortlänge:	*15 Bits*
Speicher:	*Ultraschallspeicher aus Quarz (128 Speicherplätze)*
Taktfrequenz:	*1 MHz*
Bauelemente:	*129 Transistoren, 24 Röhren, 1800 Dioden.*



Abb. 28/7.1
ETL Mark III

ETL Process Control Computer

Das Electrotechnical Laboratory Tokyo baute einen Spezial-Rechner zur Prozeß-Steuerung mit ternärem Code, weil so auf nur 5-adrigen Leitungen bis zu 241 Meßgeräte abzufragen sind. Der fünfstellige Code mit den Spannungswerten +, 0, −, bzw. 0−, 1−, 2−Wertigkeit wird durch Zusatz eines sechsten Prüfzeichens auf die Quersumme 3, 6 oder 12 ergänzt; der Wertigkeitsabstand benachbarter Zeichen ist mindestens 2.

Codetabelle:

Dezimal-Ziffer	Ternärziffer A	B	C	D	E	Prüfziffer
0	0	0	0	0	0	0
1					1	2
2					2	1
3				1	0	2
4				1	1	1
5				1	2	0
6				2	0	1
7				2	1	0
8				2	2	2
9			1	0	0	1
10			1	0	1	1
20			2	0	2	2
30		1	0	1	0	1
40		1	1	1	1	2
50		1	2	1	2	0
60		2	0	2	0	2
70		2	1	2	1	0
80		2	2	2	2	1
90	1	0	1	0	0	1
100	1	0	2	0	1	2
200	2	1	1	0	2	0
242	2	2	2	2	2	2 = löschen

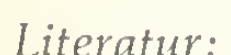

Literatur: *M. Terao, T. Ohoka und K. Murayama: A Computer Compensated Process Control System with Ternary Coded Telemetering Selector. IFAC-Tagung Moskau 1960, S. 98–100.*
M. Terao und Tamura: Semidigital Process Simulator. IRE-Transact. Japan Vol. 1–7, No. 1, 1958, S. 18–22.



Abb. 29/7.1
ETL Mark IV

gebaut von:	*Electrotechnical Laboratory, Tokio im Auftrag der japanischen Regierung.*
Fertiggestellt:	*1957 als zweiter Transistorrechner*
Code:	*dual-dezimal*
Wortlänge:	*24 Bits*
Speicher:	*Magnettrommel (1000 Speicherplätze) 18 000 U/min*
Bauelemente:	*400 Transistoren, 5000 Dioden*
Literatur:	*Nishino, H.: Vereinfachung von Rechenautomaten mit dynamischer Schaltungstechnik. Diss. Technische Hochschule Darmstadt, April 1959 Shigene Takahashi und Hiroji Nishino: The Transistorized Computer ETL Mark IV. in: Digitale Informationswandler, Verlag Vieweg & Sohn, 1962, S. 617.*

Zu diesem Rechner wurde um 1960 eine Zusatzanlage, Mark IV B zur Steigerung der Ein/Ausgabefähigkeiten gebaut.

Code:	*binär-dezimal, 32 Bits, Wortlänge = 2 Befehle = 4 Ziffern*
Befehle:	*Einadreß, Festkomma*
Speicher:	*Ferritkernmatrix für 1024 Wörter, 10 μs Taktfrequenz, Pufferspeicher für Ein/Ausgabegeräte.*
Ein-/Ausgabe:	4 *Magnetbandgeräte, Schnelldrucker, Lochstreifenleser und -stanzer*
Sonderheit:	*Überlappungs- und Vorrangs-Steuerung durch Merker-Register. Dieser Rechner kann auch selbständig als Speicherprogrammierte Anlage arbeiten.*
Literatur:	*Kazuhiro Fuchi und Hiroji Nishino: System Design of ETL Mark IV B, an Input – Output Computer. Inform. Processing in Japan, Vol. 1 (1961), S. 66–69.*

ETL Mark V ist ein serienparalleler Magnettrommelrechner mit 230 kHz Taktfrequenz, der 1700 Transistoren und 20 000 Dioden enthält und 0,47 ms Additionszeit aufweist. Er wurde von der Firma Hitachi Ltd. gebaut.

7.2 Sonderanlagen

Obgleich im allgemeinen der Einsatz von Serienmaschinen zweckmäßig ist, gibt es Anwendungen, für die „maßgeschneiderte" Spezialanlagen unerläßlich sind.



Abb. 30/7.2

„Quelle"-System der SEL (Standard Elektrik Lorenz, Stuttgart), 1957. Steuerpult. Beim Großversandhaus Quelle in Nürnberg laufen täglich bis 80 000 Bestellungen ein. Hochkant-Förderbänder verteilen sie an 120 Bearbeitungsplätze, von denen die Daten in die elektronische Buchungsanlage eingegeben werden. Diese prüft das Vorhandensein des Artikels, bucht die Ausgabe ab, speichert den neuen Bestand und gibt das Produkt Preis × Stückzahl aus.

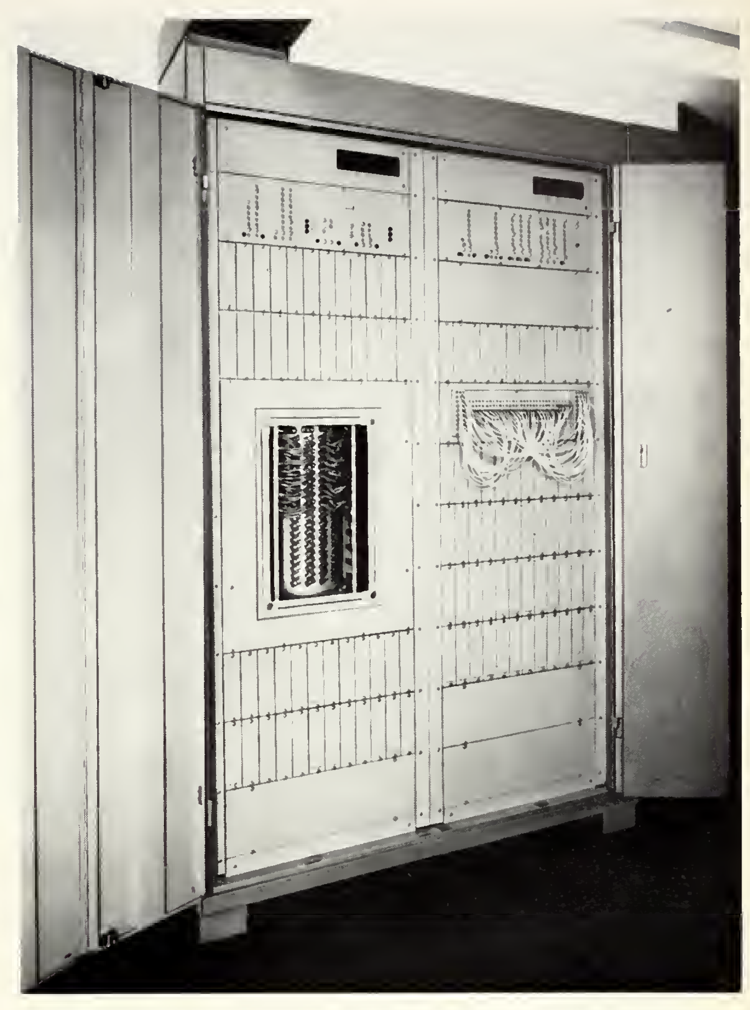


Abb. 31/7.2

„Quelle"-System der SEL: Magnettrommel-Speichergestell zur Speicherung des augenblicklichen Bestandes.

Zur Eingabe des Preises jedes Artikels dienen Stecktafel-Zuordner, die sicher und änderbar sind.



Abb. 32/7.2

„Quelle"-System der SEL: Gesamtansicht der Rechenanlage

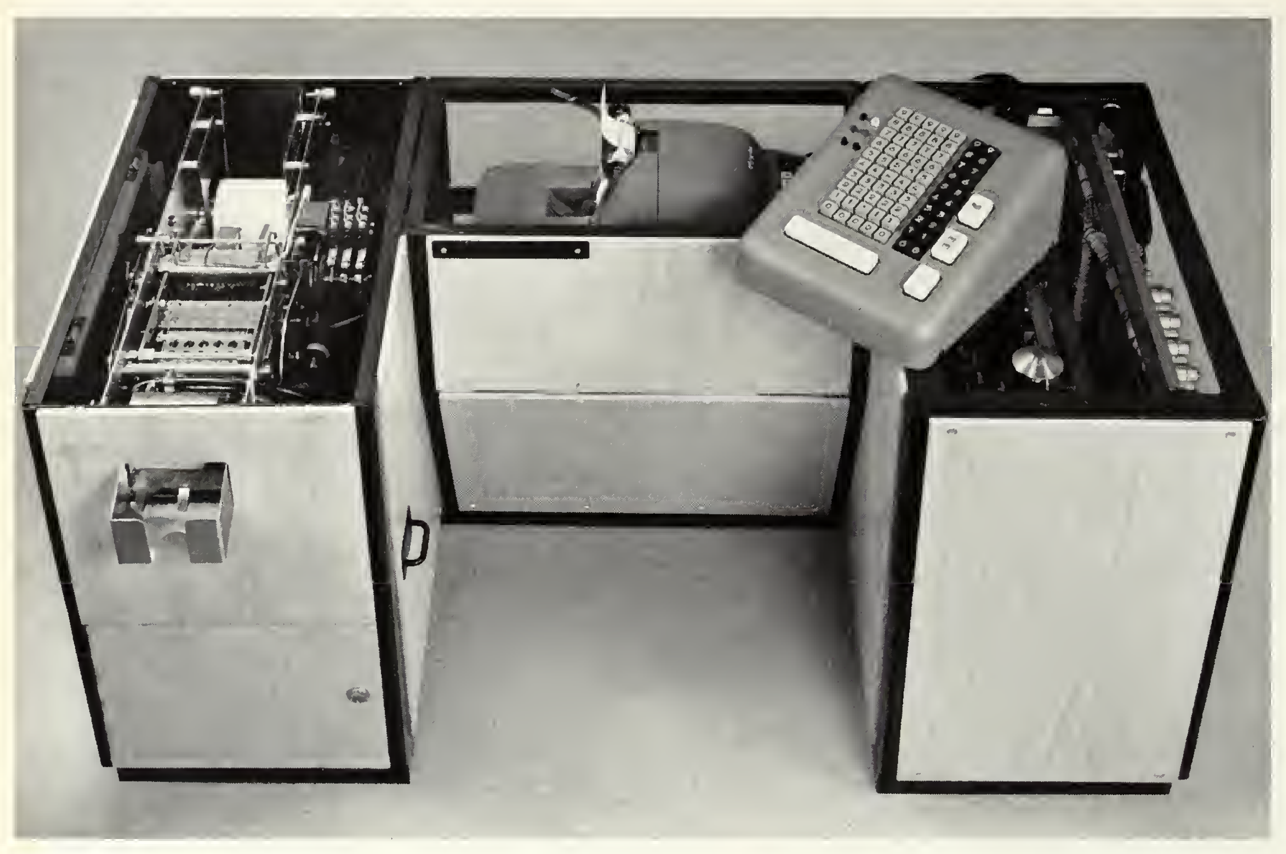


Abb. 33/7.2
„Quelle"-System der SEL: Arbeitsplatz für Bestellungseingabe mit Tastatur, Saldiermaschine und Bestellzetteldrucker



Abb. 34/7.2
Blick in einen Saal für die Bearbeitung von Bestellscheinen des „Quelle"-Systems der SEL.



Abb. 35/7.2
SEL Flugbuchungssystem bei SAS: Buchungsplätze

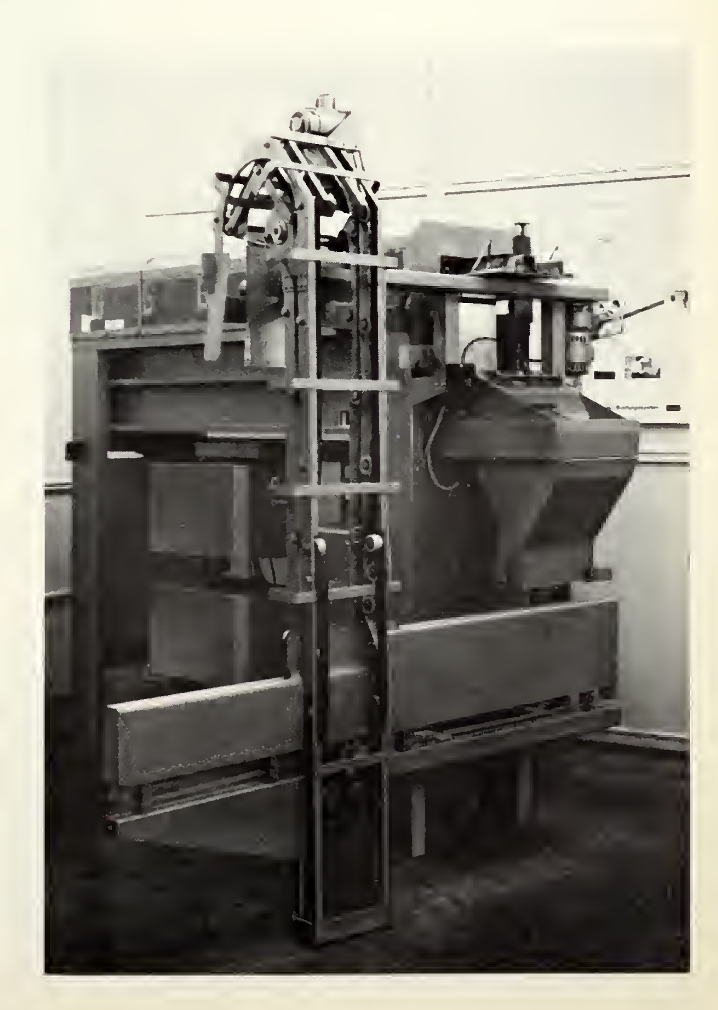


Abb. 36/7.2
SAS-Flugbuchungssystem der SEL: Buchungsplatz für Kundenschalter



Abb. 37/7.2
„Jacketing-system" von Bell Telephone Manufacturing Co., Antwerpen.
Sonderanlage zum Verbuchen von Schecks und Buchungsbelegen: die Belege werden in „jackets", das sind Plastiktaschen mit Magnetspur, gesteckt und die Daten darauf eingespeichert. Anschließend können die jackets mit den Originalbelegen sortiert, verbucht und den dabei ausgedruckten Kontoauszügen zugeordnet werden. Damit lassen sich alle Belegarten, nicht nur automationsgerechte (s. Abb. 19/9.1.5), automatisch verarbeiten, wenn auch nur langsamer und mit höherem mechanischem Aufwand.

Das sofortige Bearbeiten von Kundenaufträgen ist bei Platzreservierungssystemen für Eisenbahn-Schlafwagen bzw. Fährschiffe, insbesondere aber für den Flugverkehr ausschlaggebend für die volle Ausnutzung der vorhandenen Plätze und für wirtschaftlichen Betrieb. Daher sind die Flugbuchungs- bzw. Reservierungssysteme die ersten großen „Real Time"-Systeme mit u. U. weltweitem Netz von Abfrage- und Buchungsplätzen; sie stellen schwer zu realisierende Anforderungen an die Betriebssicherheit und Programmierbarkeit der EDV-Anlagen; mehrere Versuche kamen erst nach mehrjährigen Bemühungen zum Erfolg.



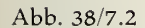


Abb. 38/7.2
Versuchsmodell der „Automatischen Kartei" (SEL), 1958.
Diese Anlage sollte 1000 Karteikarten des Formates DIN A 4 mit wahlfreiem Zugriff elektromechanisch gesteuert ausgeben; mit seiner Hilfe wurde ein komplettes "Kartei- und Buchungssystem" aufgebaut. Darin sollten die Magnetspuren der Karte abgelesen, neue Informationen damit verrechnet und wieder eingeschrieben, die zugehörige Buchungszeile auf der Karte eingedruckt und diese wieder in die Kartei zurückgefördert werden. Zusammenschluß mehrerer Kartei-Einheiten war vorgesehen. Die Kartei konnte auch statt auswechselbarer Kontokarten voll mit Magnetspuren belegte Speicherkarten aufnehmen und damit als Großspeicher für wahlfreien Zugriff dienen.
Die Entwicklung wurde nicht zur Serienreife geführt.
DB Pat. 1 161 716 43a 41/03, Zusatz zu DB Pat. 1 114 347 vom 29. 8. 57.

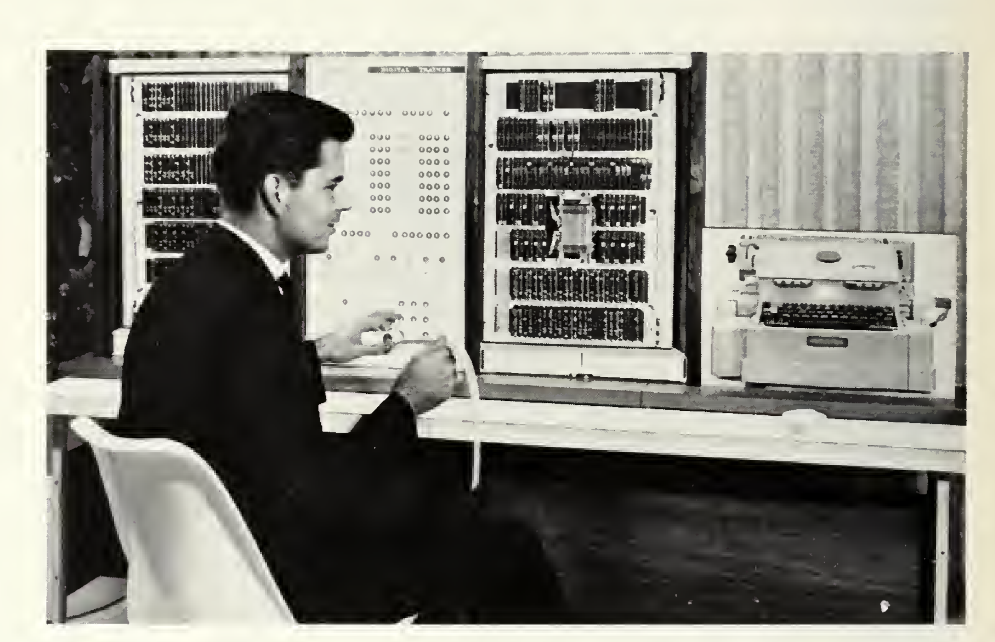


Abb. 39/7.3
UNIVAC 422 (1962) Kleinrechner speziell für Ausbildungszwecke

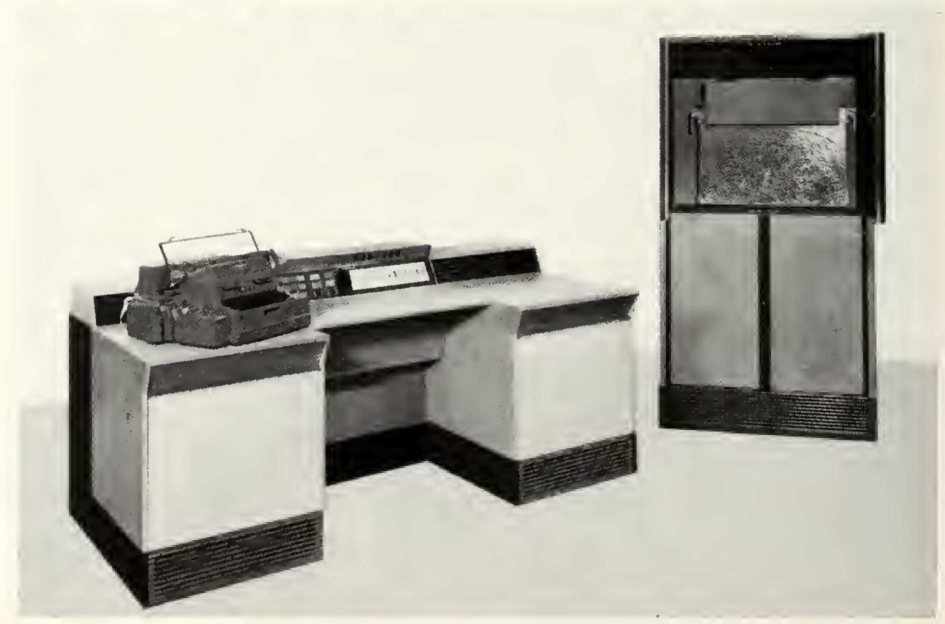


Abb. 40/7.3
Rechenanlage CAB 600 von SEA mit Magnetbandschleifen-Speicher



Abb. 41/7.3
Datenverarbeitungsanlage SEREL 1001 (siehe auch Abb. 21/7.1)

Abb. 42/7.3
IBM 610 (seit 1958) Wissenschaftlicher Kleinrechner mit Gleitkomma, Speichertrommel für 80 Wörtern zu je 31 Dezimalstellen; Programm in Schaltplatte (200 Schritte) oder Lochstreifen. Ein/Ausgabe in Lochstreifen oder Schreibmaschine. 240 Röhren.



Abb. 43/7.3
IBM 630



Abb. 44/7.3
IBM 1620 (ab 1959; bis 1963 in Europa ca. 150 ausgeliefert).

Abb. 45/7.3
Buchungs-System National 390 für Magnetkontokarten (4 Magnetspuren für Informationen, z. B. „alter Saldo", werden beim Einziehen der Karte automatisch abgelesen).

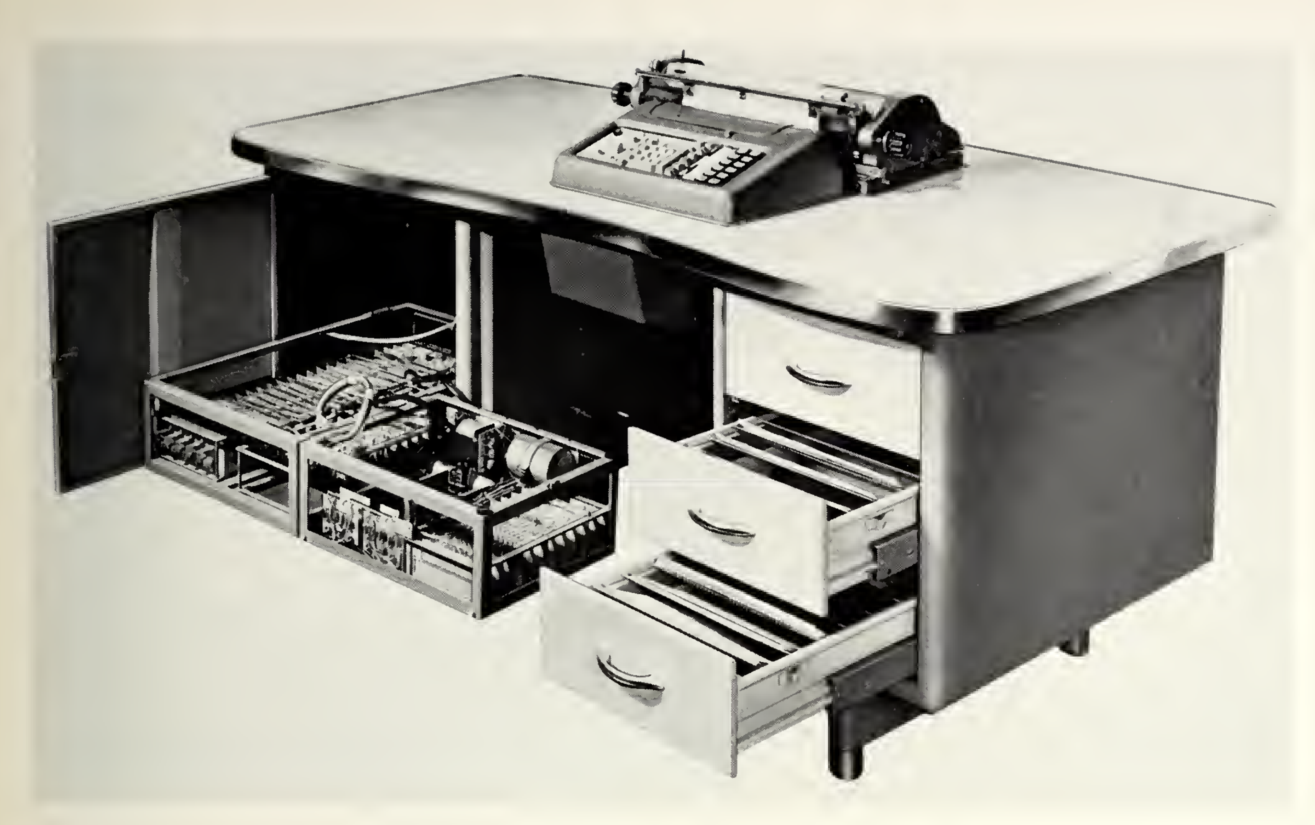


Abb. 46/7.3
Kienzle-Buchungsmaschine mit elektronischem Rechenwerk, ausgeführt in Magnetkerntechnik.



Abb. 47/7.3
Elektronische Rechenanlage FRIDEN-Computer 5610, ausgeführt mit Monolith-Schaltkreisen, 60-Wörter-Speicher, 13 Stellen + VZ je Wort, 1118 alphanumerische Programmspeicherstellen, 38 Operationsbefehle. Lochstreifen- und Lochkarten-Ein/Ausgabe.

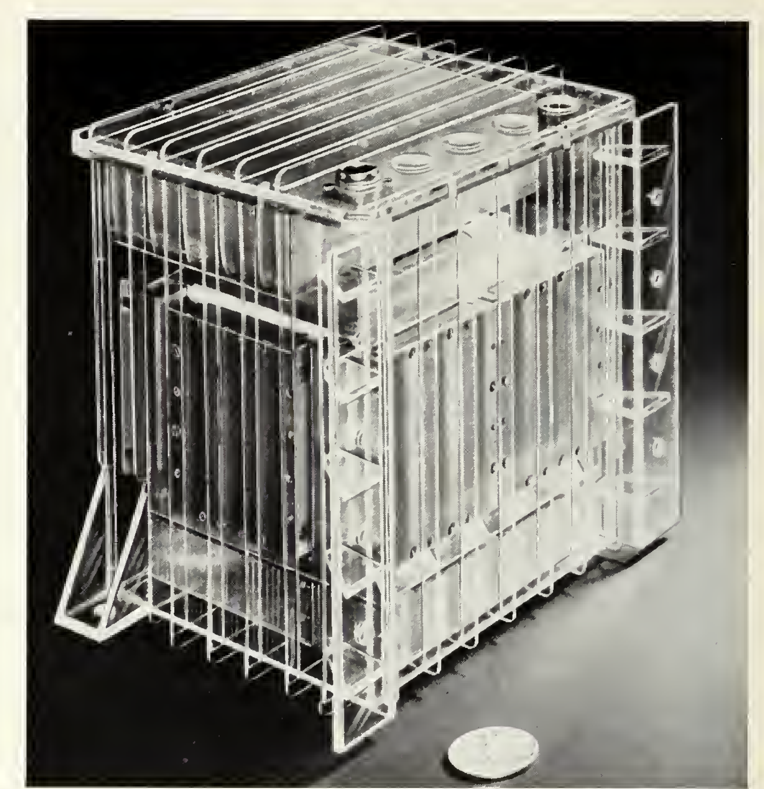


Abb. 48/7.3
UNIVAC 1824 Modell einer Miniaturrechenanlage für Raumfahrtzwecke

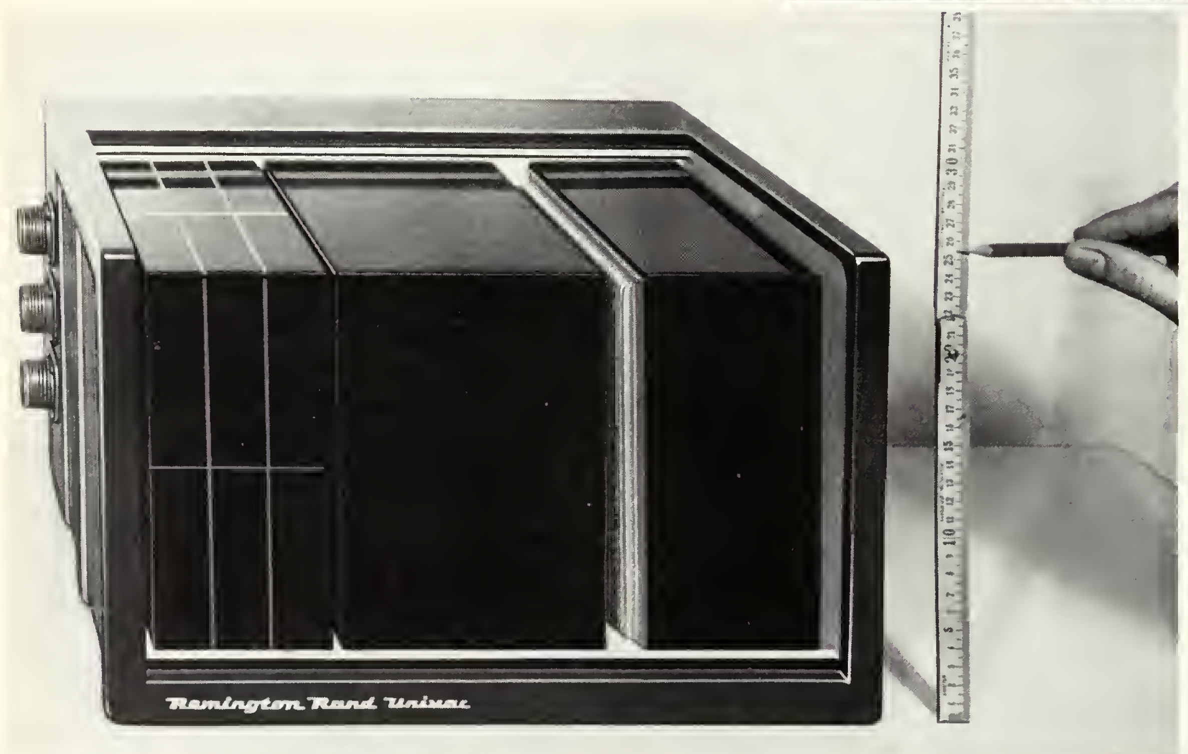


Abb. 49/7.3
Kleincomputer UNIVAC ADD (1964)

Miniaturrechner für Raumfahrt
Die in Satelliten einzubauenden Rechenanlagen müssen geringstes Volumen und Gewicht haben; sie werden daher unter Ausnutzung aller technologischen Möglichkeiten zur Miniaturisierung gebaut. Beispiele hierfür sind die Rechner UNIVAC 1824 (Abb. 48/7.3) und UNIVAC ADD (Abb. 49/7.3), ferner: Hughes „HMC-202" Dünnfilm-Computer; MAGIC; ARMA; Burroughs D 210 magnetic (computer (s. Abb. 66/8.2.4); CDC 449 (einschl. Batterier Tastatur und Anzeige 10 × 10 × 23 cm groß).

Teil III: Schaltelemente, Bauteile und periphere Geräte

8 Interne Bauelemente der Rechenanlagen

8.1 Schaltelemente der binären Rechentechnik

In der mechanischen Rechentechnik der Vierspezies-Rechenmaschinen handelt es sich bei Schaltelementen allein um die rechnenden, d. h. addierenden und mehrfache Addition ausführenden Getriebe, mit denen die dezimalen Ziffernrollen der Zählwerke fortgeschaltet werden. Sie wurden im Abschnitt 1.2 über die geschichtliche Entwicklung bereits besprochen und abgebildet. Auch die Bauelemente der Zehnerübertragung wurden dort behandelt.

Grundprinzip der elektronischen Rechentechnik ist — von den ersten Versuchen abgesehen — seit Zuses Arbeiten die binäre Rechenweise als gemeinsame Grundlage der logischen und rechnenden Schaltelemente, da sich alle hier auf das einfache $1 + 1$ beschränkten Operationen mit den Schaltgliedern der binären Logik ausführen lassen. Alle Schaltelemente sind nur zweiwertig, können nur die beiden Werte 0 und 1 darstellen, Strom leiten oder nicht, eine Bewegungsgröße weiterleiten oder leerlaufen lassen. Durch Kombination solcher einfacher Logikelemente lassen sich alle gewünschten Vorgänge beim Rechnen wiedergeben. Daß auch andere, insbesondere dreiwertige (ternäre) Ziffernsysteme gelegentlich Verwendung finden, ergibt sich aus dem Hinweis auf den japanischen Process Control Computer ETL (siehe 7.1) und auf den russischen SETUN.

Literatur:
Alexander W.: The ternary Computer. Electronics & Power 10 (1964) 2, S. 36 39.
Morris und Alexander: An Introduction to the Ternary Code System. Electronics Engng. Sept. 1960, S. 554–557.

Zuse entwickelte ab 1936 die mechanische Bauweise binärer Schaltwerke und übernahm dann die Vorteile der Relaistechnik; mit seinem Mitarbeiter *Schreyer* versuchte er die Verwendung von Elektronenröhren, die danach nur mehr allein angewendet wurden. Später traten Halbleiter- und magnetische Schaltelemente in den Vordergrund, doch auch pneumatische und hydraulische Effekte lassen sich mit Vorteil anwenden, um binäre Schaltvorgänge zu erzeugen.

8.1.1 Mechanische Schaltelemente

Sie fanden ausschließlich bei Zuses ersten Rechengeräten Anwendung (siehe 5.4.1), könnten jedoch wohl bei exakter Herstellung auch heute noch für Spezialrechner begrenzten Umfangs benutzt werden.

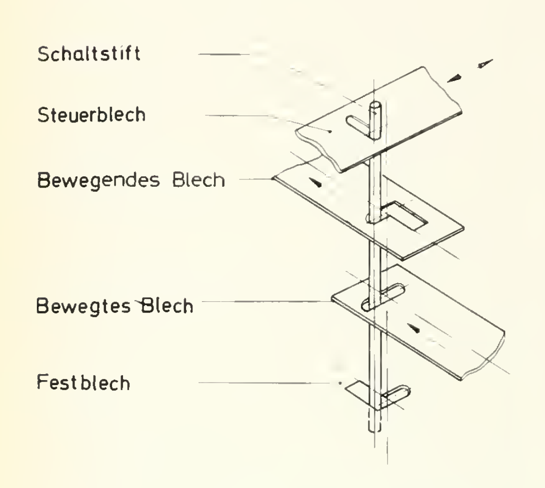


Abb. 1/8.1.1
Mechanisches Schaltelement
Bistabile mechanische Schaltelemente wurden 1936 von Konrad Zuse in Berlin entwickelt (siehe auch Abb. 5/5.4.1).

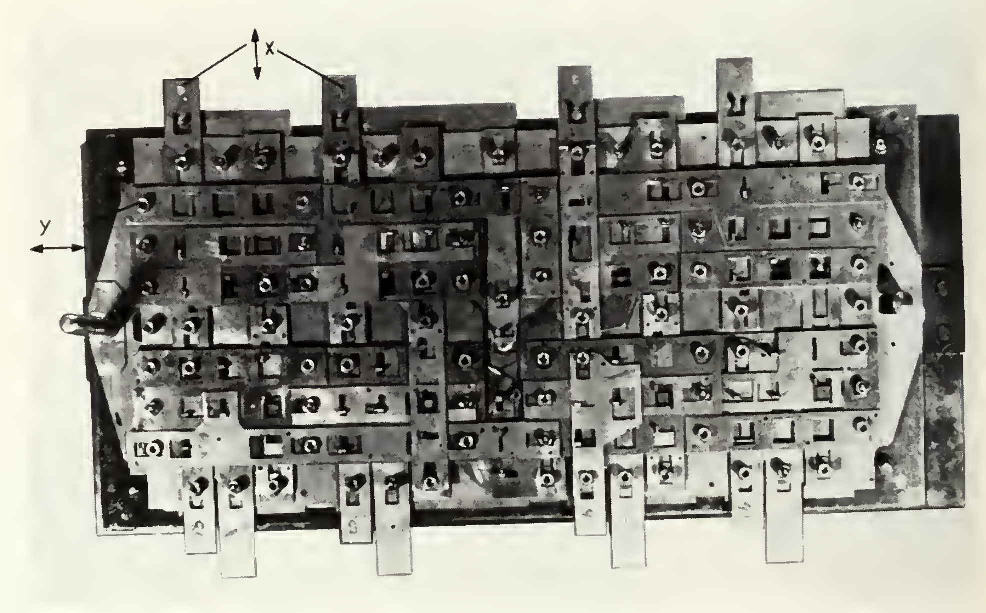


Abb. 3/8.1.1
Versuchsaufbau eines Rechengerätes von Zuse mit mechanischen Schaltgliedern

Abb. 2/8.1.1
UND – Schaltung
wenn A = 1 UND B = 1, so ist auch C = 1
Nach dem gezeigten Schema für die UND-Schaltung arbeiteten Teile der Rechenanlage Z 1, Z 2, Z 3 und der Speicher der Z 4.

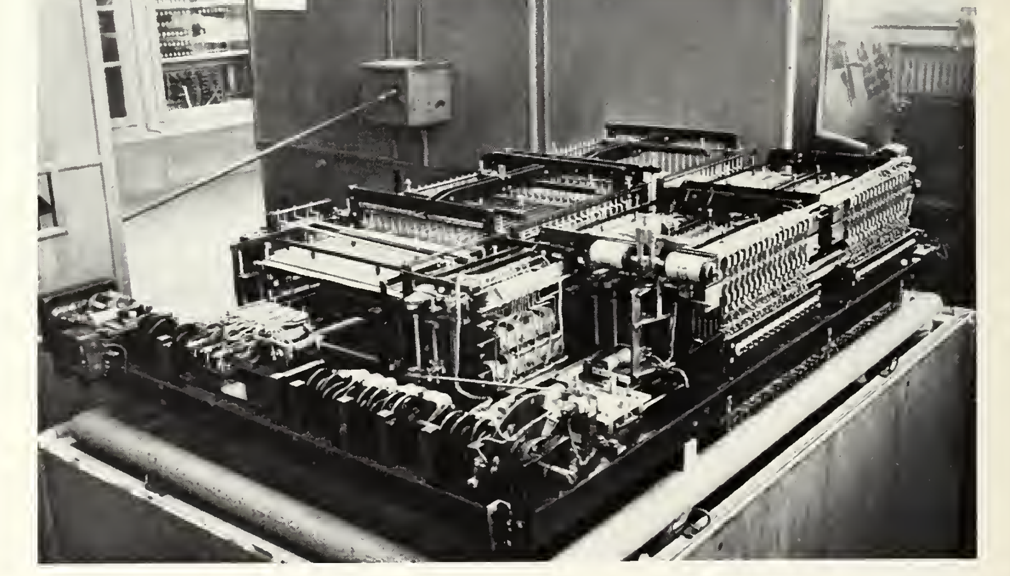


Abb. 4/8.1.1
Das mechanische Speicherwerk der ZUSE Z 4 (siehe Abb. 15/5.4.6) vorgesehen für 500, ausgebaut für nur 64 Zahlen.
Die eigentlichen Speicherzellen liegen links hinten; davor sind die beiden Ansteuerungswerke und vorne die Hauptsteuerwelle mit mit ihren Nockenscheiben angeordnet.

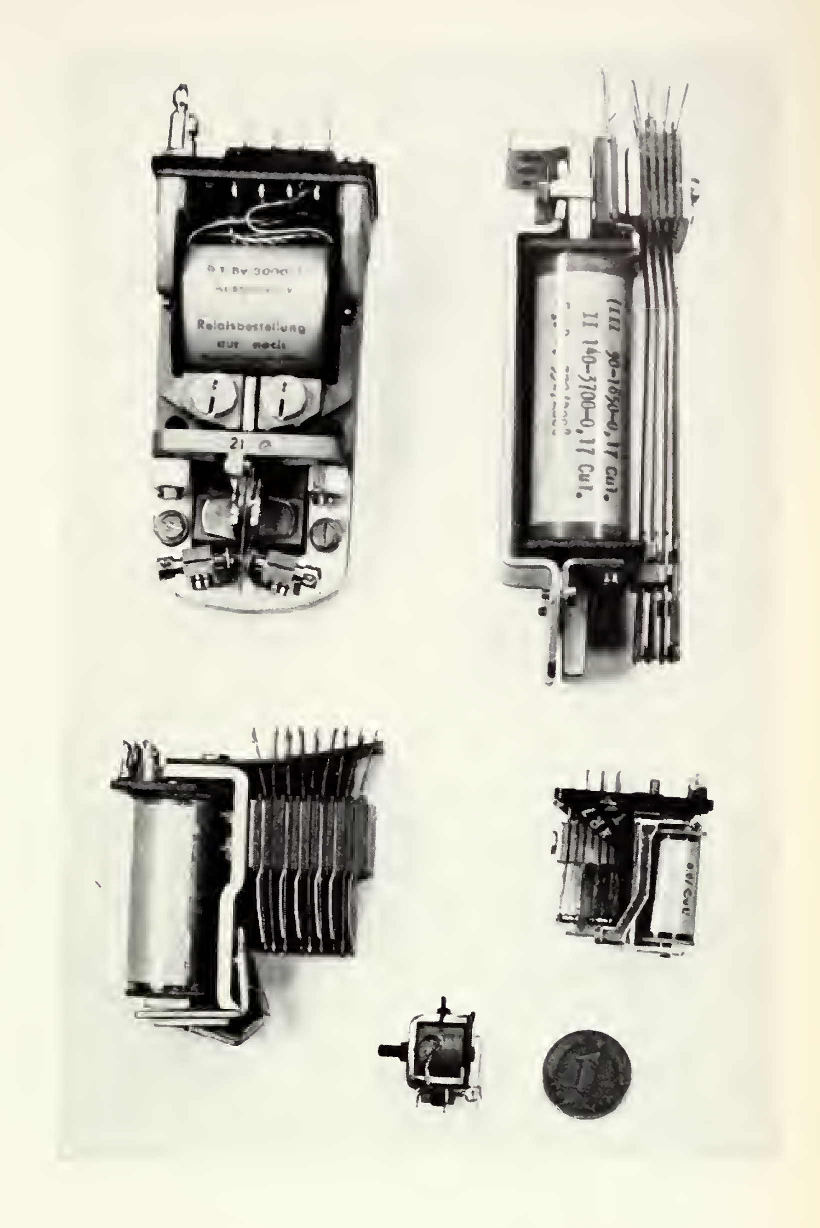


Abb. 5/8.1.2
Einige Relais-Bauformen
oben links: polarisiertes „Telegraphen"-Relais mit zwei stabilen Lagen (prädestiniert für bistabile Schaltungen, verwendet z. B. in der OPREMA, siehe Abb. 3/5.6.5);
oben rechts: normales Relais der Vermittlungstechnik;
unten: Verkleinerung zu heutigen Miniatur-Relais.
Relais haben zwei Schaltzustände:

Eingang	*Ausgang*	
1) Spule erregt	*Arbeitskontakte*	*geschlossen*
	Ruhekontakte	*geöffnet*
2) Spule stromlos	*Arbeitskontakte*	*geschlossen*
	Ruhekontakte	*geöffnet*

Der besondere Vorteil der Relais liegt darin, daß in weiten Grenzen beliebige Kombinationen von Arbeits- und Ruhekontakten auf einem Relaiskörper aufzubringen sind und daß beliebig lange Serienschaltungen möglich sind, da jedes Relais als Impulsverstärker wirkt.

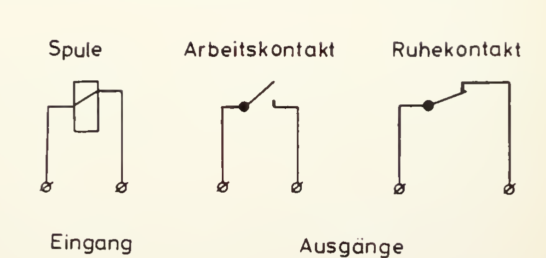
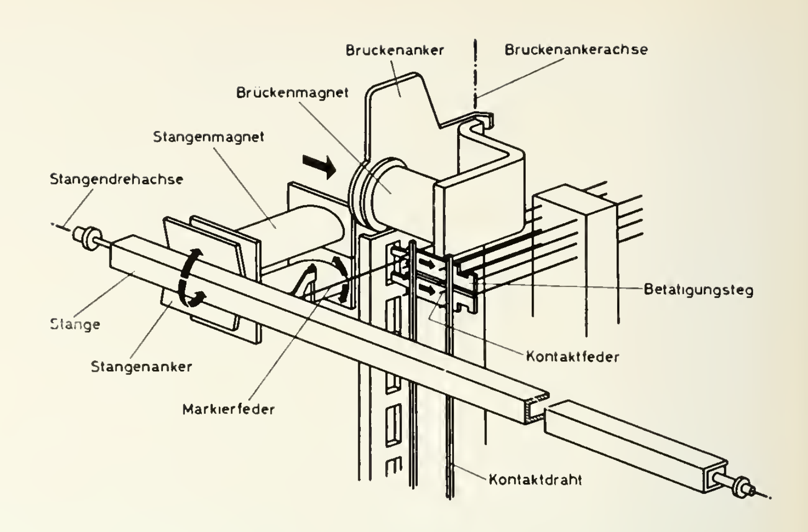


Abb. 6/8.1.2
Charakteristische Eigenschaften der Relais:
Ein- und Ausgänge sind elektrisch voneinander getrennt.
Kleine Schaltfrequenzen (max. 300 Hz)
Neuere Entwicklungen des altbewährten Relais betreffen Miniaturisierung der Abmessungen, um die Relais auch in gedruckte Schaltungen einsetzen zu können,
und
Steigerung der Zuverlässigkeit durch Einkapseln und Evakuieren. Letzteres führte zum Bau der „Dry-Reed"- Kontakte oder „hermetisch eingeschlossener Kontakte" (Herkon-Relais), bei dem die Kontaktfedern in ein evakuiertes Glasröhrchen eingeschmolzen sind und durch ein von außen einwirkendes Magnetfeld zur Berührung und zum Schließen des Kontaktes veranlaßt werden.
Eine weitere Entwicklung brachte den elektromechanischen „Crossbar"- oder „Koordinatenschalter", bei dem durch Auswahl von erregten „Brücken-" und „Stangenmagneten" ein im Kreuzungspunkt betroffener Kontakfedersatz einer Matrixanordnung geschlossen wird. Er wurde in einigen Rechnern (ERMETH, Abb. 11/6.4) als Speicher verwendet.

Abb. 7/8.1.2
Koordinatenschalter (Crossbar Switch). Wirkungsweise der Einstellglieder zur Betätigung eines Kontaktfedersatzes. Angewendet als Ausgabe-Pufferspeicher bei ERMETH (siehe Abb. 11/6.4).



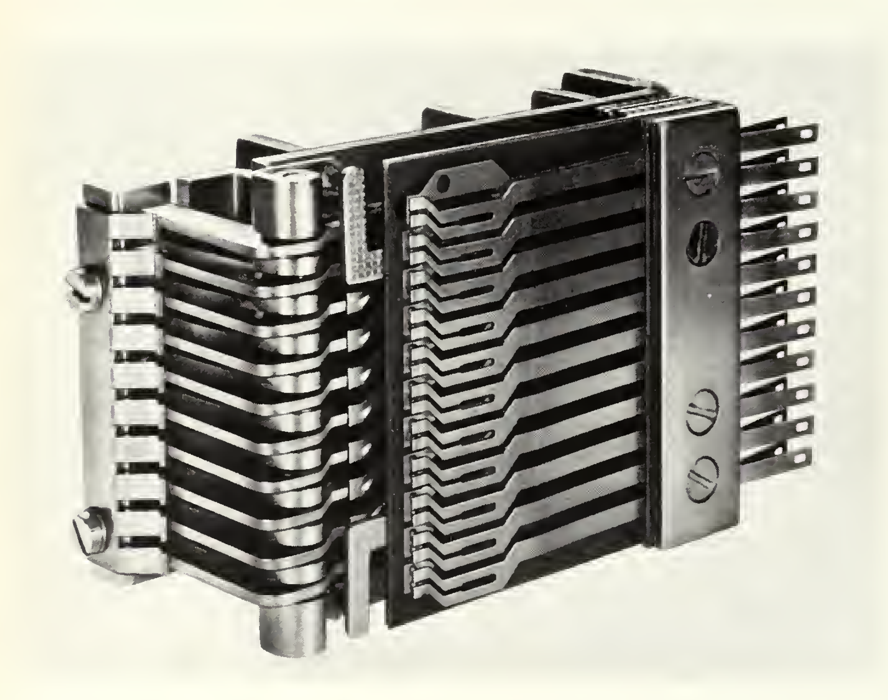


Abb. 8/8.1.2
Zählmagnet ZM 53, Ansicht von vorn (SEL). Dezimale Zählschaltung in Form eines Relais mit 10 Kontaktsätzen, die der Reihe nach von jedem einzelnen Impuls fortgeschaltet werden und sich selbst halten.

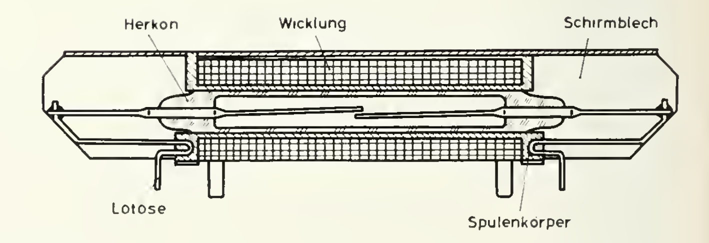


Abb. 9/8.1.2
Schnittbild eines Relais mit in Glasröhrchen eingeschmolzenen Kontakten (Reed-Relais): SEL-„Herkon"- Relais.
Es ist auch möglich, mehrere Kontaktröhren mit Arbeitskontakten in eine gemeinsame Magnetspule einzusetzen, gleichzeitig zu erregen und somit den Vorteil des vielteiligen Federsatzes von normalen Relais teilweise nachzubilden; ferner können Magnetspulen in zweidimensionaler Anordnung zu Kontaktmatrizen zusammengeschlossen werden und den Koordinatenschalter (Abb. 7/8.1.2) nachbilden.

8.1.3 Elektronische Schaltelemente

8.1.3.1 Röhren

Geschichtlicher Überblick

1884 Th. A. Edison entdeckt den Emissionseffekt des glühenden Kohlefadens an seinen Glühlampen

1903 A. Wehnelt untersucht die Elektronenemission glühender Drähte

1904 A. Wehnelt erhält Patent (DRP 157 845) über Kathodenröhre als Gleichrichter mit metalloxydbeschichteter Kathode

1905 A. Fleming verwendet Glühfäden als Kathoden in der ersten Anwendung der Röhre als Detektor (DRP 186 084) und ist auf der Spur der Glühkathoden-Verstärkerröhre

1906 Lee de Forest führt eine dritte Elektrode ein

1906 R. von Lieben erzielt durch dritte Elektrode einen Verstärkungseffekt bei Wechselströmen (DRP 179807 vom 3. 3. 1906)

1907 Lee de Forest erhält in den USA ein Patent auf eine „Audionschaltung"

1910 R. von Lieben bringt ein Steuergitter zwischen Anode und Kathode an

1912 Die Firmen AEG, Felten & Guillaume, Siemens & Halske und Telefunken übernehmen die von Liebenschen Erfinderrechte und gründen Röhrenlaboratorien

1913 J. Langmuir schlägt die Hochvakuumröhre vor (USA-Patent 26 492 vom Oktober 1913)

1914 Siemens & Halske stellt die erste Hochvakuum-Elektronenröhre her, Telefunken baut damit den ersten Niederfrequenz-Verstärker für Hörempfang.

Neuere Entwicklungen gelten insbesondere dem Erreichen höherer Lebensdauer, kleinerer Abmessungen und geringerer Empfindlichkeit gegen äußere Einflüsse (Stahl- und Keramikkolben u. dgl.).

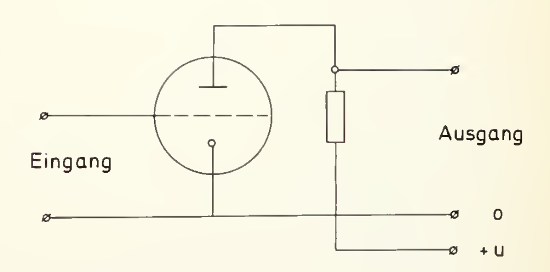


Abb. 10/8.1.3.1
Symbol.
Röhren haben zwei Schaltungszustände:

Eingang	*Ausgang*
1) negative Spannung	*Röhre ist gesperrt* *keine Ausgangsspannung*
2) positive Spannung	*Röhre ist leitend* *am Ausgang liegt Spannung*

Charakteristische Eigenschaften

Signal am Ausgang ist invers zum Signal am Eingang,
sehr hohe Schaltfrequenz (max. 50 MHz),
hoher Leistungsverbrauch,
unvermeidliche Alterung.

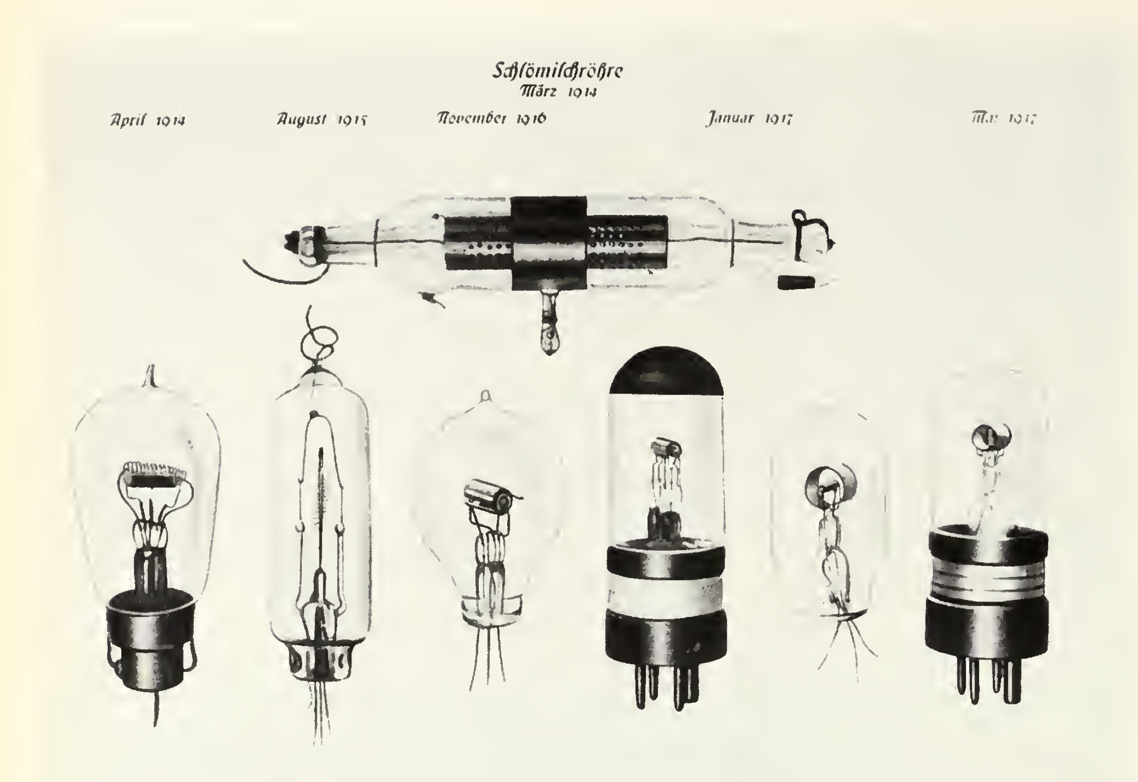


Abb. 11/8.1.3.1
Schlömilch-Röhre
(aus der Druckschrift „Die Kathodenröhre bei Empfangsanlagen" der Ges. f. drahtlose Telegraphie m. b. H. Telefunken (ca. 1918)



Abb. 12/8.1.3.1
moderne Heptode, die bei Gattern und Koinzidenzschaltungen verwendet wird





AUSGEGEBEN AM
23. OKTOBER 1941

REICHSPATENTAMT

PATENTSCHRIFT

№ 708797

KLASSE 42p GRUPPE 3

M 143261 IX b/42 p

Dr. Maximilian Mathias in Berlin-Charlottenburg

ist als Erfinder genannt worden

Dr. Maximilian Mathias in Berlin-Charlottenburg

Trägheitsloses elektrisches Zählwerk

Patentiert im Deutschen Reich vom 5. November 1938 an

Patenterteilung bekanntgemacht am 19. Juni 1941

Registrierzähler mit mehreren bezifferten Anzeigeradern, deren Stellung in jedem Augenblick den Zählerstand angibt, sind in Form der sogenannten Rollenzählwerke sowohl mit mechanischer als auch mit elektromechanischer Weiterschaltung bekannt. Diese Anordnungen besitzen jedoch den Nachteil, daß infolge der Massenträgheit der Antriebsglieder und der Elektromagnete die Zählgeschwindigkeit nicht über eine gewisse Grenze gesteigert werden kann.

Die vorliegende Erfindung löst die Aufgabe, ein trägheitsloses elektrisches Zählwerk zu schaffen, dadurch, daß für jede zu zählende Zehnerpotenz ein Kathodenstrahlrohr vorgesehen ist, das ein aus Ablenkelektroden und gezahnten Steuerelektroden aufgebautes elektrisches Hemmwerk enthält, welches durch die an die Ablenkelektroden angelegten Zählspannungsstöße schrittweise ausgelöst wird und ein sprunghaftes Vorwärtsschreiten des Kathodenstrahles, dessen Leuchtfleck die jeweilige Stellung des Zählwerks angibt, auf einer dem Umriß der Steuerelektroden entsprechenden Bahn herbeiführt.

Die Abb. 1 bis 3 zeigen ein Ausführungsbeispiel des Gegenstandes der Erfindung.

Die Abb. 1 stellt einen Schnitt des Kathodenstrahlrohres dar. An der Vorderwand des Rohres ist der Leuchtschirm 20 angebracht, der vom Kathodenstrahl 18 getroffen wird. Dieser Strahl geht von der Kathode 11 aus, passiert den Konzentrationszylinder 12 und die Anodenblende 13 und gelangt dann in das Ablenkfeld, das aus dem Plattenpaar 14, 15 für die Lotablenkung und dem Plattenpaar 16, 17 für die Querablenkung besteht. Bevor der Strahl den Leuchtschirm trifft, muß er die Steuerelektroden 21, 22 passieren, deren besondere Form in Abb. 2 vergrößert dargestellt ist. Die Steuerelektroden 21, 22 bestehen aus zwei sprossenartig ausgestanzten

Abb. 13/8.1.3.2
Patentschrift „Trägheitsloses elektrisches Zählwerk"
Dr. M. Mathias, 1938

1929 A. W. Hull und 1931 C. E. Wynn-Williams, schlagen die Thyratronröhre als Zählwerkselement vor

1938 M. Mathias verwendet Braunsche Röhre als dezimalen Zähler (DRP 708797) (Abb. 13, 14, 15/8.1.3.2) (1897 von F. Braun erfunden, 1903 fügt A. Wehnelt zwei Ablenkplatten ein)

1939 W. Hündorf erhält Patent über eine dezimale Rechenzelle mit einer Braunschen Röhre (DRP 900281) und beschreibt darin grundsätzlich alle Charakteristika einer elektronischen Rechenschaltung (Abb. 16, 17/8.1.3.2)

1939 H. Schreyer entwickelt in Zusammenwirken mit K. Zuse ab 1937 an der Technischen Hochschule Berlin ein Röhrenrelais mit einer nach seinen Forderungen von der Fa. Telefunken gebauten Spezialröhre und baut damit binäre Rechen- und Speicherschaltungen (DRP 937 170 vom 11. 6. 1942) (Abb. 18, 19, 20/8.1.3.2)

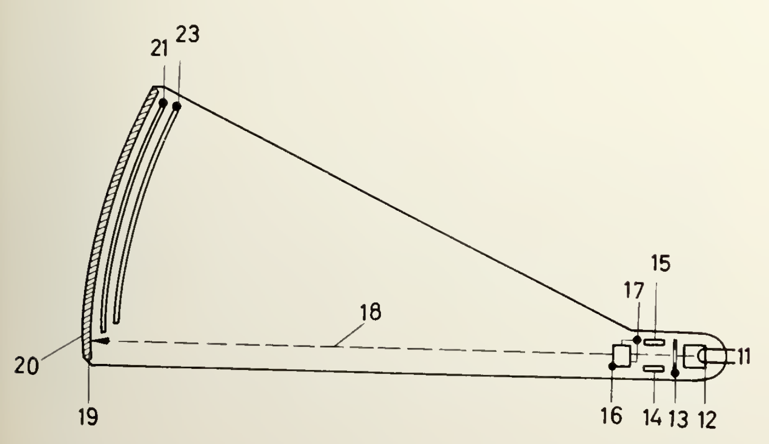


Abb. 14/8.1.3.2
Dezimales Zählwerk als Kathodenstrahlröhre nach M. Mathias

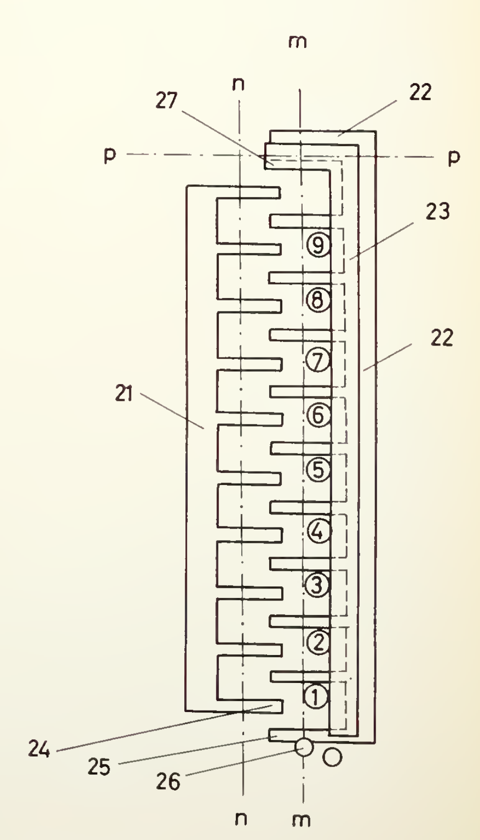


Abb. 15/8.1.3.2
Die zehnstufigen Steuerelektroden der im Zählwerk nach der Patentschrift Mathias vorgesehenen Kathodenstrahlröhre

8.1.3.3 Transistoren

Geschichtlicher Überblick

1907–1912 K. Baedecker entdeckt, daß ein schlecht leitender Kristall aus Kupferjodür um 10^5 fach bessere Leitfähigkeit erhält, wenn er in Joddampf gehalten wurde, wobei Jod-Atome in das Kristallgitter einwandern.

Ab 1920 C. Wagner, B. Gudden und W. Schottky untersuchen weitere Halbleiter; Pohl in Göttingen arbeitet über die lichtelektrische Leitung in Metallhalogeniden.

1930 begann die Entwicklung von Gleichrichtern und Fotoelementen aus SeO und CuO; der Mechanismus wurde von Davjdor, Schottky und Mott erkannt.

Ab 1940 wurden Germanium und Silizium erforscht und große Einkristalle zu züchten erreicht. Darin wird möglich, 1 Fremdatom auf 10 Milliarden Ge-Atome einzulagern, wodurch der Leitfähigkeitsbereich und die Trägerkonzentration im Bereich von 8 Zehnerpotenzen zu variieren sind.

1947 John Bardeen und Walter H. Brattain in den Bell Laboratorien entwickelten den Transistor.

Literatur: The transistor, a semiconductor triode, Phys. Rev. 74 (15. 7. 48) S. 230–231.

1948 (26. 6.) Dr. William Shockley: Patentanmeldung betreffend „eine feste, leitende elektrische Vorrichtung unter Verwendung von Halbleiterschichten zur Steuerung elektronischer Energie".

1948 wurden Dioden in Röhrenschaltungen eingeführt.

Literatur: Page, C. H.: Digital Switching Circuits. Electronics, 21 (1948, Sept.) S. 110–118.

1951 waren die ersten Transistoren im Handel erhältlich.

1955 Transistoren werden in Großserien hergestellt.

1955 TRADIC (s. Abb. 1/7.1) von Bell Telephone Laboratories: ein Versuchsrechner für die US Air Force, aus 800 Transistoren und 11 000 Germaniumdioden und doch nur 3 Kubikfuß groß.

Literatur: New Transistor Computer Developed for the Air force. Bell Labs Record, April 1955, S. 155–156.

1959 erster englischer Transistorrechner: METROVICK 950

Literatur: v. Meyeren: Über die Bedeutung der Halbleiterphysik. VDI-Nachr. vom 18. 3. 64, S. 11 und 14.

Literatur: Early, J. M.: Semiconductor Devices. Proc. IRE (1962) Mai, S. 1006–1010.

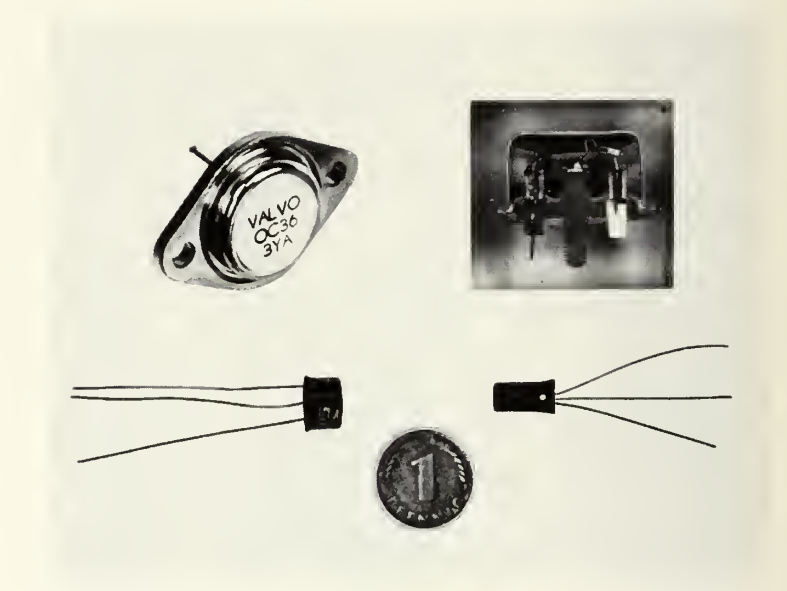
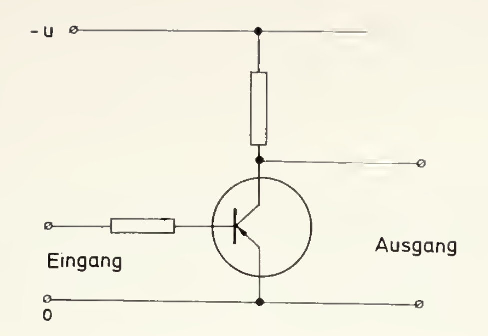


Abb. 22/8.1.3.3
Transistoren
Größenvergleich verschiedener Typen



Abb. 23/8.1.3.3
Größenvergleich zwischen Röhre und Germanium-Transistor

Abb. 24/8.1.3.3
Symbol
Schaltzustände wie bei der Röhre (siehe Abb. 10/8.1.3.1)
Charakteristische Eigenschaften:
kleine Abmessungen,
hohe Schaltfrequenz (max. 100 MHz, bei Drifttransistoren 200–500 MHz),
kleiner Leistungsverbrauch (keine Heizung, aber höhere Leistung als bei der Röhre),
hohe Lebensdauer.



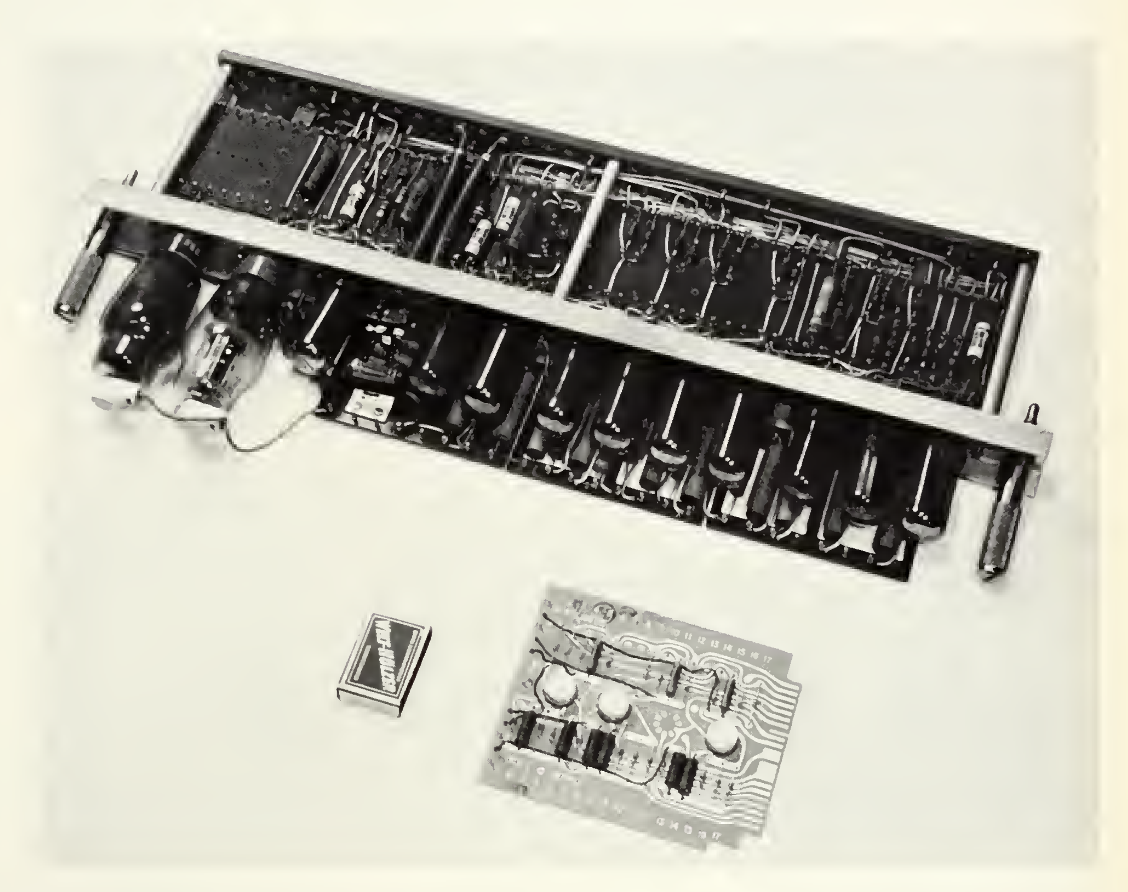
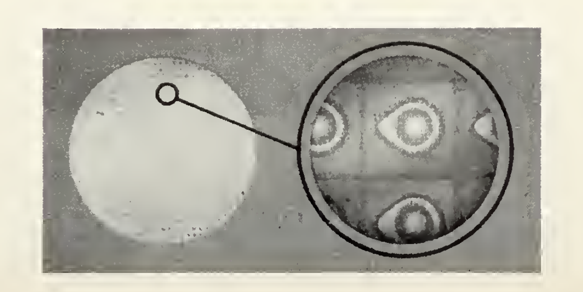


Abb. 25/8.1.3.3
Größenvergleich zwischen verdrahteter Röhren- und gedruckter Transistorschaltung

Abb. 26/8.1.3.3
Herstellung von Halbleiter-Bauelementen durch Aufdampfen in Vacuum ermöglicht vollautomatische Fertigung großer Stückzahlen. Im Bild sind bis zu 1500 Transistoren auf einere Silizium-Scheibe von der Größe einer Münze aufgebracht; die Scheibe wird anschließend zerschnitten.
In ähnlicher Art fertigt IBM die Transistoren für die neue „Solid-Logic-Technology".



8.1.4 *Magnetische Schaltelemente*

Geschichtlicher Überblick

1943 Dr. Albers-Schönberg beschäftigt sich bei der Firma Steatit-Magnesia mit Ferriten; er führt seit

1948 bei General Ceramics diese Arbeiten fort und findet ein Ferrit-Sintermaterial mit rechteckiger Hystereseschleife.

1949 erste Veröffentlichung in Electric Manufacturing (Dez. 1949).

1951 Vacuumschmelze Hanau verwendet Permenorm 5000 Z zur Herstellung von Band-Ringkernen; erster Rechner damit: Aikens Mark IV; Versuche damit erfolgten auch im Institut für Praktische Mathematik der Technischen Hochschule Darmstadt am DERA.

1951 W. N. Papian entwickelt im Lincoln Laboratory (MIT) den ersten Kernspeicher für einen Rechner („Whirlwind I").

Literatur: Papian, W. N.: The MIT Magnetic-Core Memory. Proc. Eastern Joint Computer Conference, Dez. 1953, Washington, S. 37–42.

8.1.4.1 *Ringkerne*

Man unterscheidet folgende Ausführungen:

aus metallischem Bandmaterial „Permalloy" und „Permenorm") gewickelte Ringkerne und

nach pulvermetallurgischen (Sinter-) Verfahren hergestellte Ferrit-Ringkerne, die mit wesentlich höheren Frequenzen betrieben werden können (bis 500 kHz);

mit Bewicklung („Ferractor") oder

mit nur einer Windung in Form eines (oder mehrerer) durch ihre Öffnung hindurchgesteckten Leiterdrahtes;

einfache Ringkerne,

Mehrloch-Kerne („Transfluxor"),

Mehrloch-Platten,

miniaturisierte Magnetelemente in Form aufgedampfter Punkte als neueste Entwicklung, im UNIVAC 1104 erstmals eingebaut.

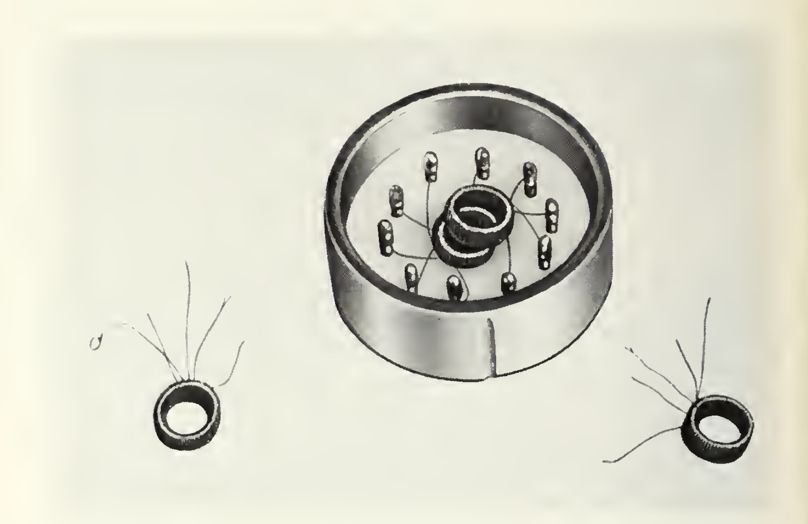


Abb. 27/8.1.4.1
Bewickelte Ringkerne mit mehreren galvanisch getrennten Windungen („Ferractoren" von Remington Rand)

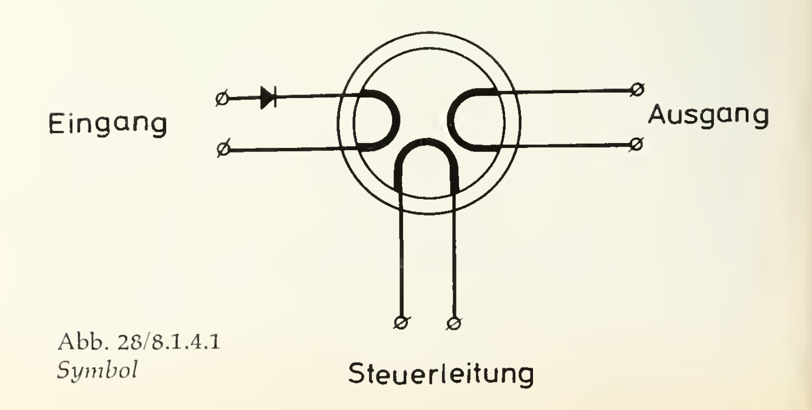


Abb. 28/8.1.4.1
Symbol

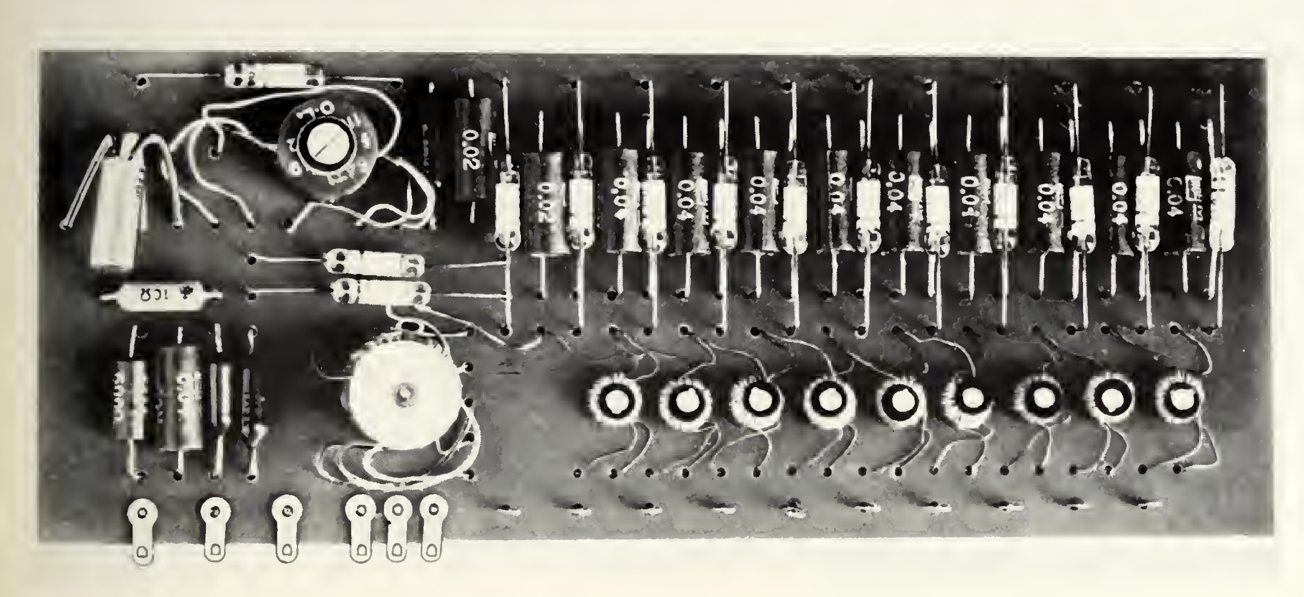
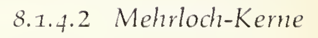


Abb. 29/8.1.4.1
Rein magnetische Rechenschaltung mit gewickelten Ringkernen im Kienzle-Buchungsrechner



8.1.4.2 Mehrloch-Kerne

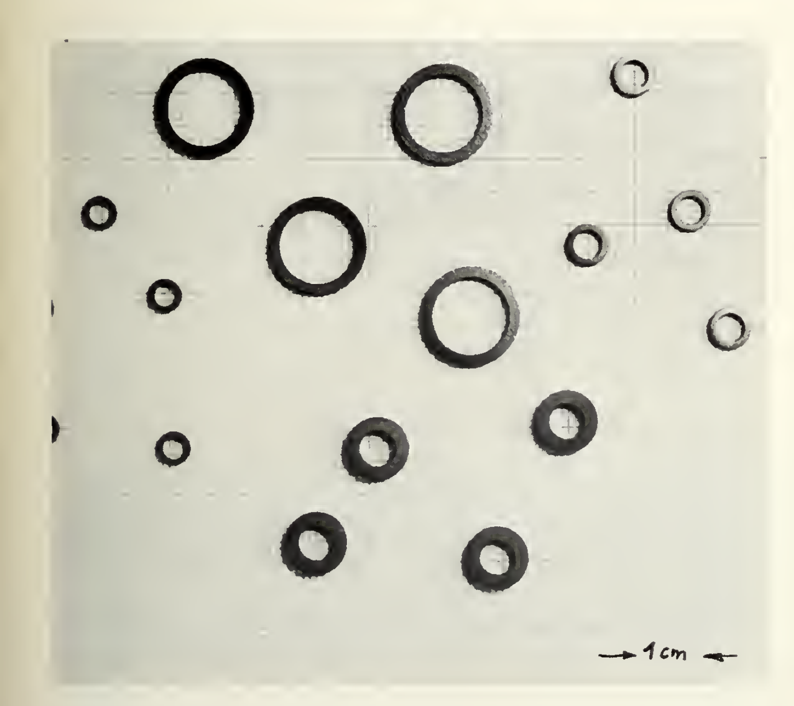


Abb. 30/8.1.4.1
Größenvergleich verschiedener Ringkerne aus Sintermaterial

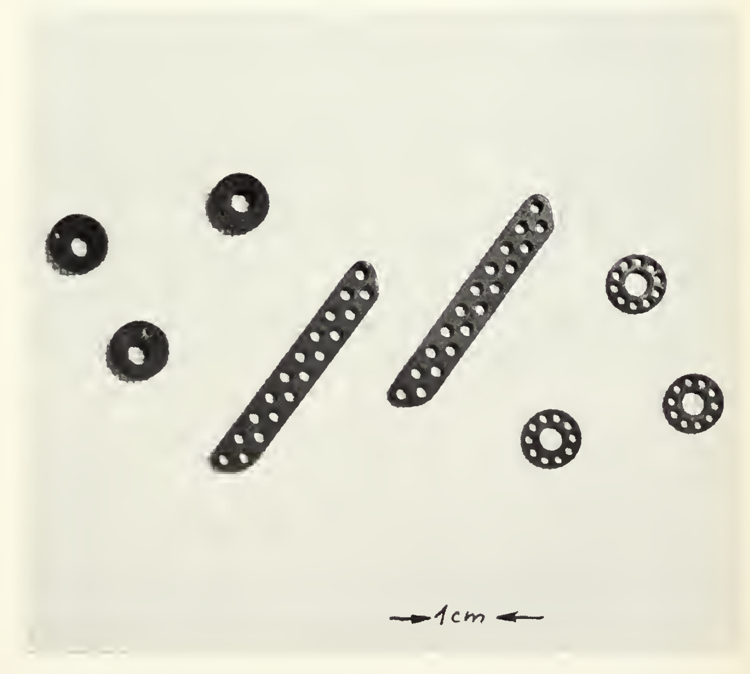


Abb. 31/8.1.4.2
Strukturkerne

Als Schaltelemente verwendet können Ferritkerne nicht die bei Speicherkernen erreichten kleinen Abmessungen (siehe Abb. 119/8.3.6.1) haben, weil ja meistens mehrere Schaltleitungen durch ihre Öffnung hindurchgeführt werden müssen (siehe Abb. 71/9.3).

Kerne mit mehreren Öffnungen lassen eine Vielfalt von Schaltkombinationen zu.
Am genauesten untersucht und beschrieben ist der „Transfluxor" (Abb. 31/8.1.4.2, links).
Schaltfrequenz bei Mehrloch-Kernen max. 200 kHz.

Literatur: Rajchman, J. A. und Lo, A. W.: The Transfluxor. Proc. IRE 44 (1956) No. 3, S. 321–332.

Geschichtlicher Überblick

1954 E. Goto erhält das Patent 1 025 176 über das „Parametron".

Danach werden in Japan mehrere Rechenanlagen mit diesen zuverlässigen Schaltelementen entwickelt (siehe 6.6).

1954 J. von Neumann meldet gleichzeitig ein Patent (US 2 815 488) an.

Die bistabile Eigenschaft des Parametron besteht darin, daß seine erzwungene Schwingung, bezogen auf eine willkürliche hochfrequente Pumpschwingung, zwei verschiedene Phasenlagen haben kann (Abb. 32—35/8.1.5).

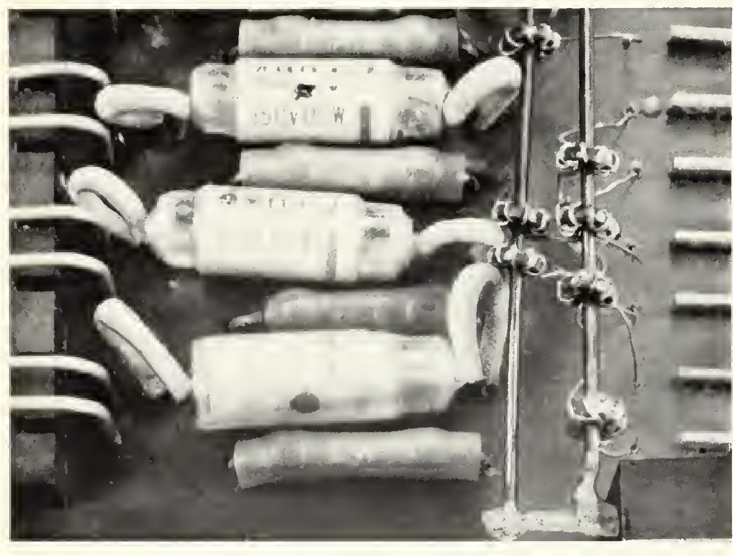


Abb. 32/8.1.5
Parametron aus einem japanischen Rechenautomaten (Nippon Electric Co.)

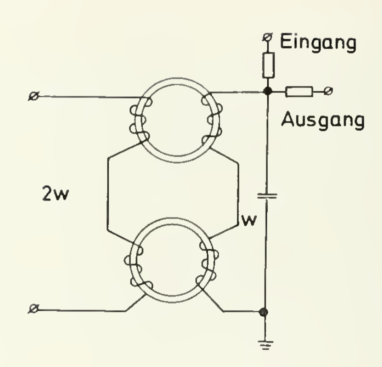


Abb. 34/8.1.5
Parametronschaltkreis mit Ferritkernen

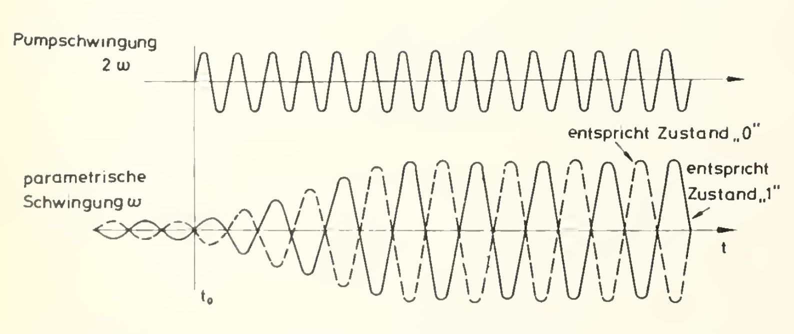


Abb. 33/8.1.5
Schematische Darstellung der beiden stabilen Schwingungszustände eines Parametron

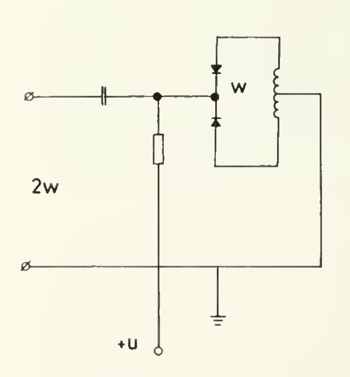


Abb. 35/8.1.5
Parametronschaltkreis mit Dioden

Literatur:
Schmitt, E.: „Das Parametron", Moser-Verlag Garmisch-Partenkirchen 1961.

8.1.6 *Hydraulische und pneumatische Schaltelemente*

Die hochgezüchteten elektronischen Schaltelemente mit ihren hohen Leistungen und dem besonderen Vorteil der bequemen Zusammenschaltung zu komplexen und dennoch sehr kleinen Einheiten sind in manchen Anwendungsfällen doch nicht recht brauchbar: wenn sie nämlich extremen Umweltverhältnissen ausgesetzt oder von Strahlungen durchsetzt werden. Dies kommt in den Steuerungen zu Satelliten ebenso vor wie bei denen von militärisch einzusetzenden Flugkörpern, die nicht durch absichtliche Gegenwirkungen außer Betrieb gesetzt werden dürfen. Man suchte und entwickelte daher unbeeinflußbare Schaltelemente mit hydraulischer und pneumatischer Wirkungsweise; sie lassen sich erstaunlich klein ausbilden und zu integrierten Baublocks zusammenfassen. Man unterscheidet solche Schaltglieder, die den statischen Druck zur Verdrängung von Kölbchen, Kugeln oder dünnsten Folienscheibchen und zum Steuern von Strömungswegen ausnutzen, und solche, die auf dynamischen und Grenzschicht-Erscheinungen der strömenden Medien beruhen.

8.1.6.1 *Flüssigkeits-mechanische Schaltglieder*

Literatur: Mitchell, A. E., Glättli, H. H., Mueller, H. R.: Fluid Logic Devices and Circuits. Transactions of the Society on Instrument Technology. 26. Feb. 1963 in London (29 Referate).
Glättli, H. H.: Neuere Untersuchungen auf dem Gebiet digitaler mechanischer Steuerungs- und Rechenelemente. Elektronische Rundschau 15 (1961) H. 2, S. 51–53.
Glättli, H. H.: Future for Fluid Amplifiers. Electronics, 25. 3. 1960, S. 41.
Angrist, St. W.: Fluid Control Devices. Scientific American (Dez. 1964) S. 81–88.
Zalmanzon, L.: Pneumatic Computing and Control Devices. Engineering Materials & Design 7 (1964), 4, S. 228–232.
Humphrey und Tarumoto (Hrsg.): Fluidics. Boston, Mass., 1965.

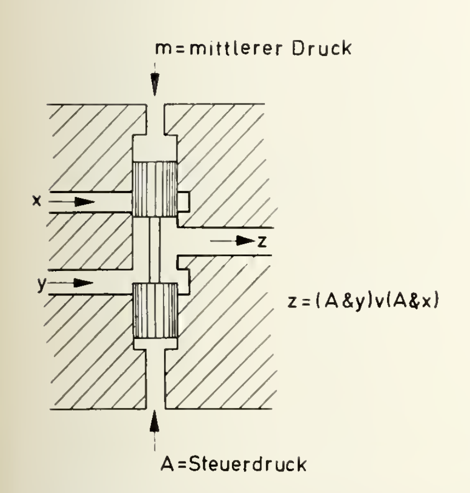


Abb. 36/8.1.6.1
Symbol

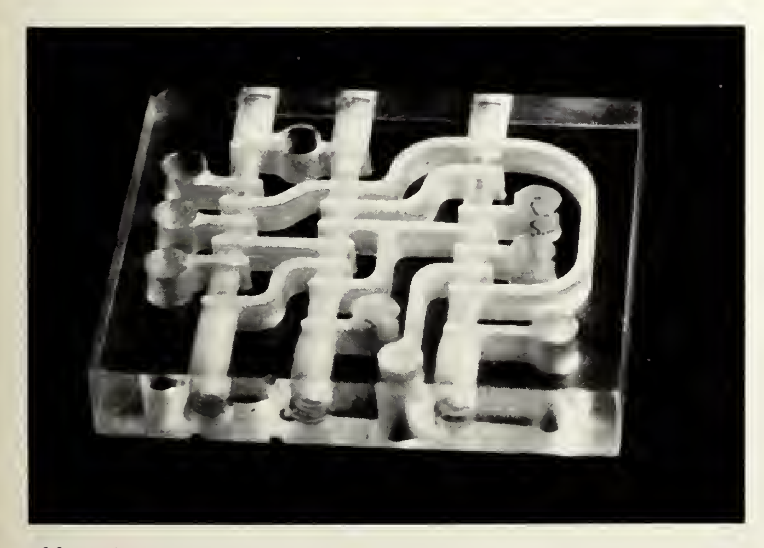


Abb. 37/8.1.6.1
Binär-Zählstufe (IBM Zürich)

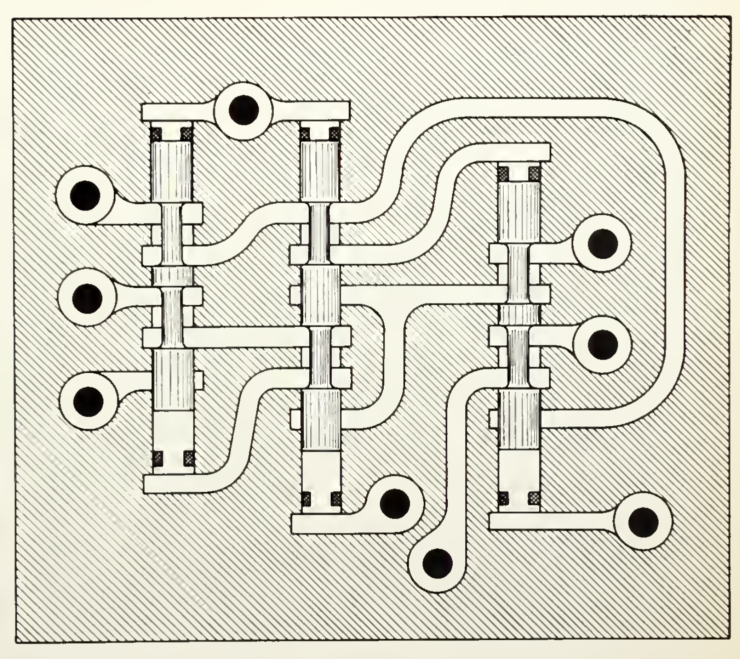


Abb. 38/8.1.6.1
Schema einer Binär-Zählstufe in hydraulischem Aufbau (IBM Zürich)

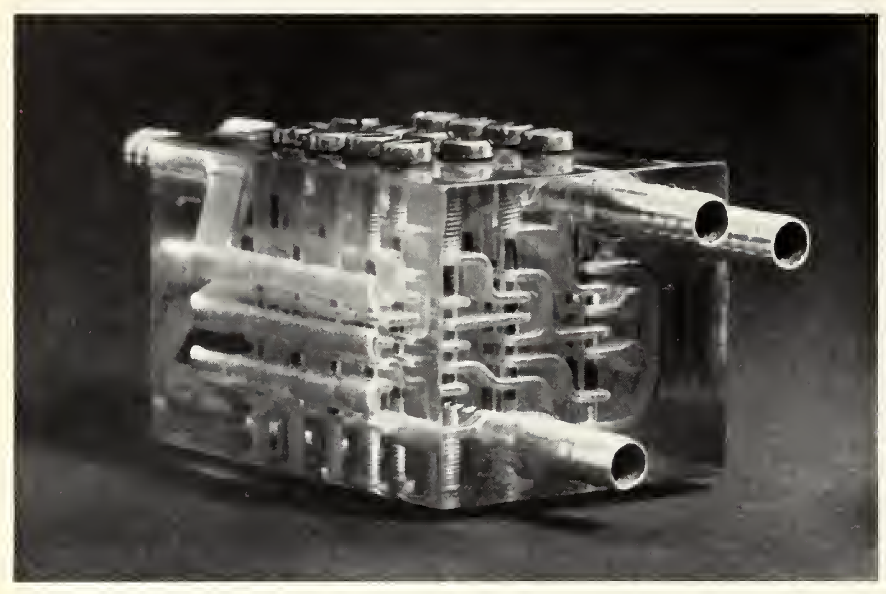


Abb. 39/8.1.6.1
Modell eines vierstufigen Binärzählers, aus Plexiglas gearbeitet (IBM Zürich)

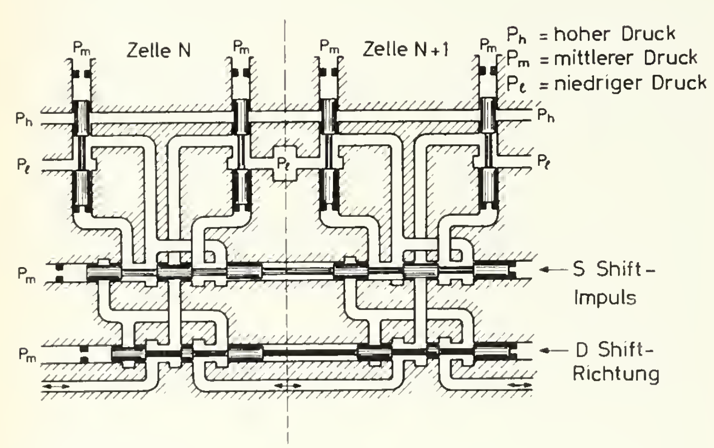


Abb. 40/8.1.6.1
Schema eines Schieberegisters

Zum Abtasten von Lochstreifen und -bändern sind pneumatische Einrichtungen wieder im Vordringen, und zwar in Verbindung mit digitalen Steuerungen für Werkzeugmaschinen, bei denen auch die Sollwert-Einstellung der Supporte über Druckluft-Schubkolben und dgl. erfolgt.

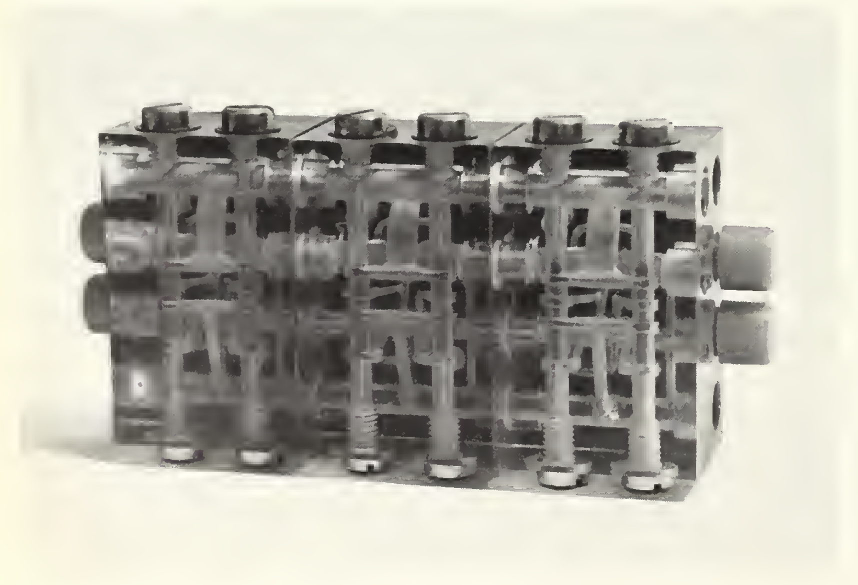


Abb 41/8.1.6.1
Modell eines Schieberegisters

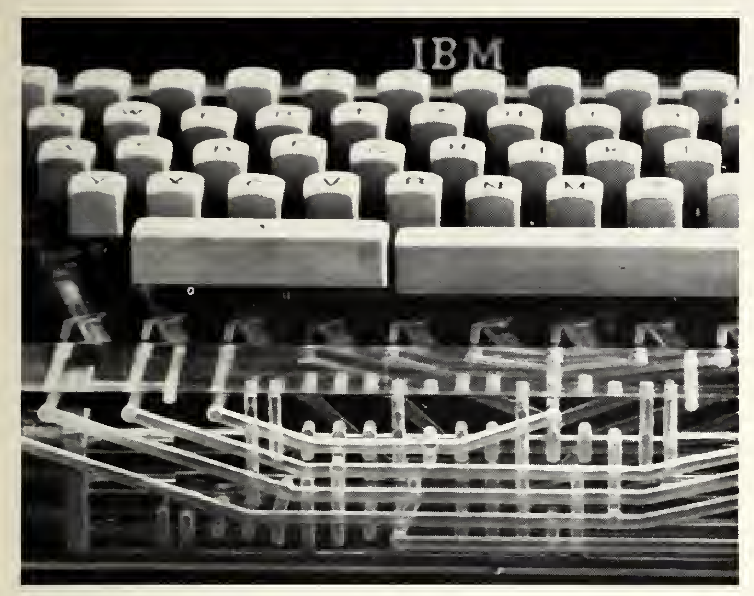


Abb. 42/8.1.6.1
Schreibmaschine mit pneumatischer Dekodierungsschaltung zur Umsetzung von Lochstreifen-Code in Tastenbetätigung mittels mehrfacher Steuerkölbchen nach Abb. 36/8.1.6.1. (IBM)

Die hier gezeigten pneumatischen Schaltungen sind Modelle aus der Entwicklungsperiode.
Nachdem es seit langem pneumatisch vom Lochband betätigte Schreibautomaten und ölhydraulischen Schreibstiftvorschub (allerdings mit elektrischer Ansteuerung) bei Serienschnelldruckern (siehe Abb. 39/9.2.4.1) gibt, ist naheliegend, auch die Steuerung von Schnelldruckern mit pneumatischen Schaltelementen zu bauen, wie ICT 1967 ankündigt.

Kolbenpyramide
Unterteilte Acht bei Acht Matrize
Entlastungskanal
Druckluft-anschluss
D E F
Eingang D=1 E=0 F=0
Ausgang aus Matrize
A B C D E F
1 1 1 1 0 0
C
B
A
Eingang A=1 B=1 C=1
Kolbenpyramide
Entlastungskanal
Druckluftanschluss

Abb. 43/8.1.6.1
Schema einer pneumatischen Ansteuerung einer Schreibmaschine (IBM)

Ansprechzeit: bei Wasser: 20 ms bis 600 μs
bei Wasserstoff: 400 μs bis 12 μs
je nach Düsenweite und Kanaltiefe.

Strömungsdynamische Schaltelemente mit ihren sehr engen Kanälen lassen sich durch fotochemisches Ätzen in Glas und Kunststoff mit genügender Genauigkeit herstellen; derartige Grundbausteine zum Zusammenstellen von Versuchsschaltungen aus elementaren Logik-Gliedern, z. B. Verstärker, UND, NOR, und Eingabe-Gliedern wie Annäherungsschaltern usw. sind heute mit den zugehörigen Aufbau- und Verbindungsmitteln im Handel (Plessey 1967).

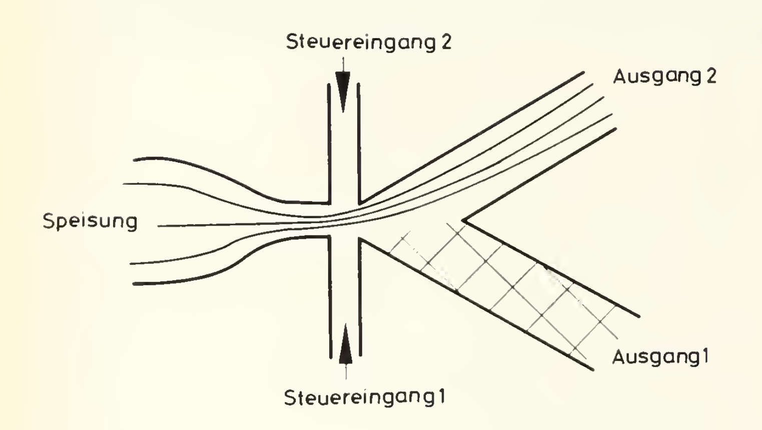


Abb. 44/8.1.6.2
Prinzip des „Grenzschicht-Verstärkers"

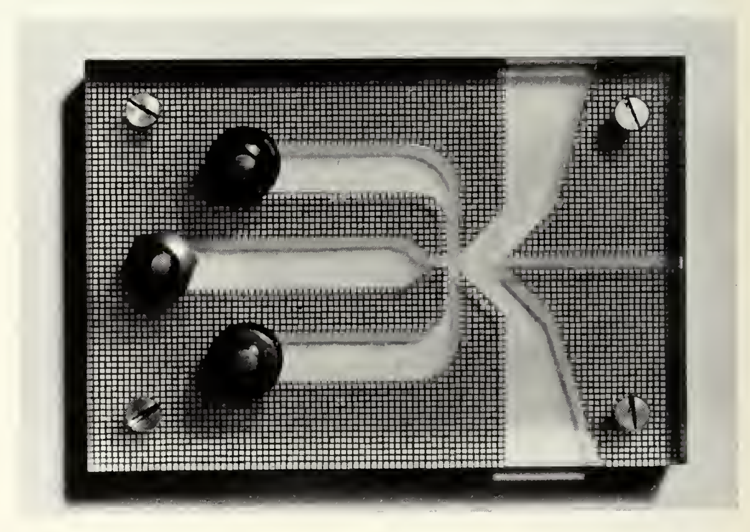


Abb. 45/8.1.6.2
Flüssigkeits-dynamisches bistabiles Element
Der mittlere von links kommende Strahl legt sich an die nach oben oder unten führende schräge Wandung an und bleibt in dieser Lage, je nachdem ob ein kurzer Steuerimpuls-Strahl in der oberen oder unteren Seitenleitung eingeleitet wurde. (IBM Zürich)



Abb. 46/8.1.6.2
Flüssigkeits-dynamisches Schieberegister

8.2 Aufbau- und Verbindungstechnik

Die mechanische Bauweise der Rechenautomaten nach Babbage und der ersten Modelle der Zuse-Rechner führt beim Aufbau größerer Anlagen zu unüberwindlichen Schwierigkeiten; die mechanischen Bewegungsgrößen der miteinander zu verbindenden Baugruppen lassen sich nur bei unkomplizierten Geräten räumlich übertragen. Ein Blick in das Innere moderner und leistungsfähiger Tischrechenmaschinen verdeutlicht diese Aussage auf das anschaulichste. Ein Ausweg für die variable Verbindung und Zuordnung von Bewegungsquelle und -ziel wurde bei Lochkartenmaschinen in Gestalt flexiblen Bowdenzuges gefunden; er ist jedoch nur in sehr beschränktem Maß einsetzbar. Nur die elektrische Bauweise ermöglicht durch die keinen Einschränkungen unterworfene Verbindung und Übertragung der Schaltimpulse durch dünne Drahtleitungen einen von der Zusammengehörigkeit der Baugruppen unabhängigen Aufbau der Gesamtschaltung. Erst mit der Steigerung der Schaltfrequenz wird die Grenze der Leitungslänge zu einem Hindernis: die Übertragungszeit darf den Arbeitstakt schneller elektronischer Schaltungen nicht beeinträchtigen, diese müssen daher nahe zusammengerückt und miniaturisiert werden, oder es müssen andere Übertragungswege gefunden werden als die Stromleitung in Drahtverbindungen. Durch diese Forderung wird zur Zeit die Entwicklung von optischen Schaltelementen z. B. aus doppelbrechenden Zellen mit dem Lichtstrahl als Übertragungsmittel aktuell.

Während die ersten Rechenanlagen noch allgemein durch Verdrahtung der Schaltelemente aufgebaut waren, teilte sich späterhin die Technik des Zusammenbaus in einerseits kompakte Baugruppen, die fest verdrahtet oder auf geätzte Schaltplatten montiert sind, und andererseits in die weiterhin nach üblicher Weise mit vieladrigen Kabeln oder Kabelbäumen verdrahteten Gestelle. Man versucht jedoch auch, dieses Zusammenfügen der Schaltplatten oder Steckbaugruppen durch vorbearbeitete, meist geätzte dreidimensionale Verbindungsträger zu vereinfachen, doch ist die Entwicklung hierin noch nicht abgeschlossen.

Literatur: electronic packaging and production. Kiver Publications, Inc. Chicago.

8.2.1 Freie Verdrahtung aller Bauelemente

Die Schaltdrähte werden in der benötigten Länge geschnitten, abisoliert und einzeln angelötet. Die Lötverbindung wird sicherer, wenn der Schaltdraht zuvor um den Anschluß herumgewickelt wird. Es zeigte sich, daß schon allein genügend festes Umwinden eines rechteckigen Querschnittes zuverlässige Verbindungen ergibt. Hierzu wurden erst "Wire-Wrap"-Werkzeuge, dann kombinierte Drahtlege- und Wrap-Automaten mit Programmsteuerung gebaut (Abb. 47—51/8.2.1).

Literatur: Mallina, R. F., Reck, F.:The Combination Wire-Wrapping Tool. Bell Labs Record 33 (Aug. 1955) S. 281–284.
– – : Automating Wiring Machine Announced. Bell Labs Record 33 (Okt. 1955) S. 398.

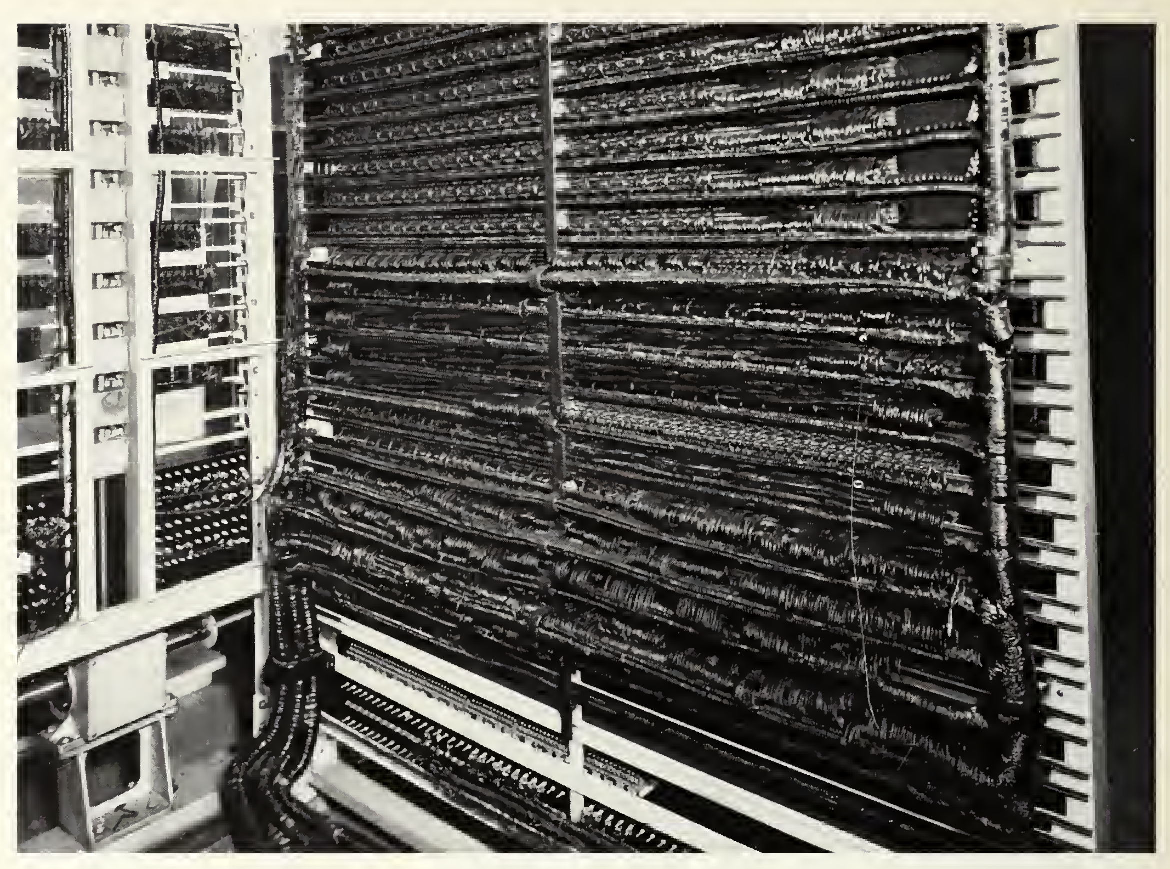


Abb. 47/8.2.1
Verdrahtung von Relais-Multiplizierwerken des Mark I

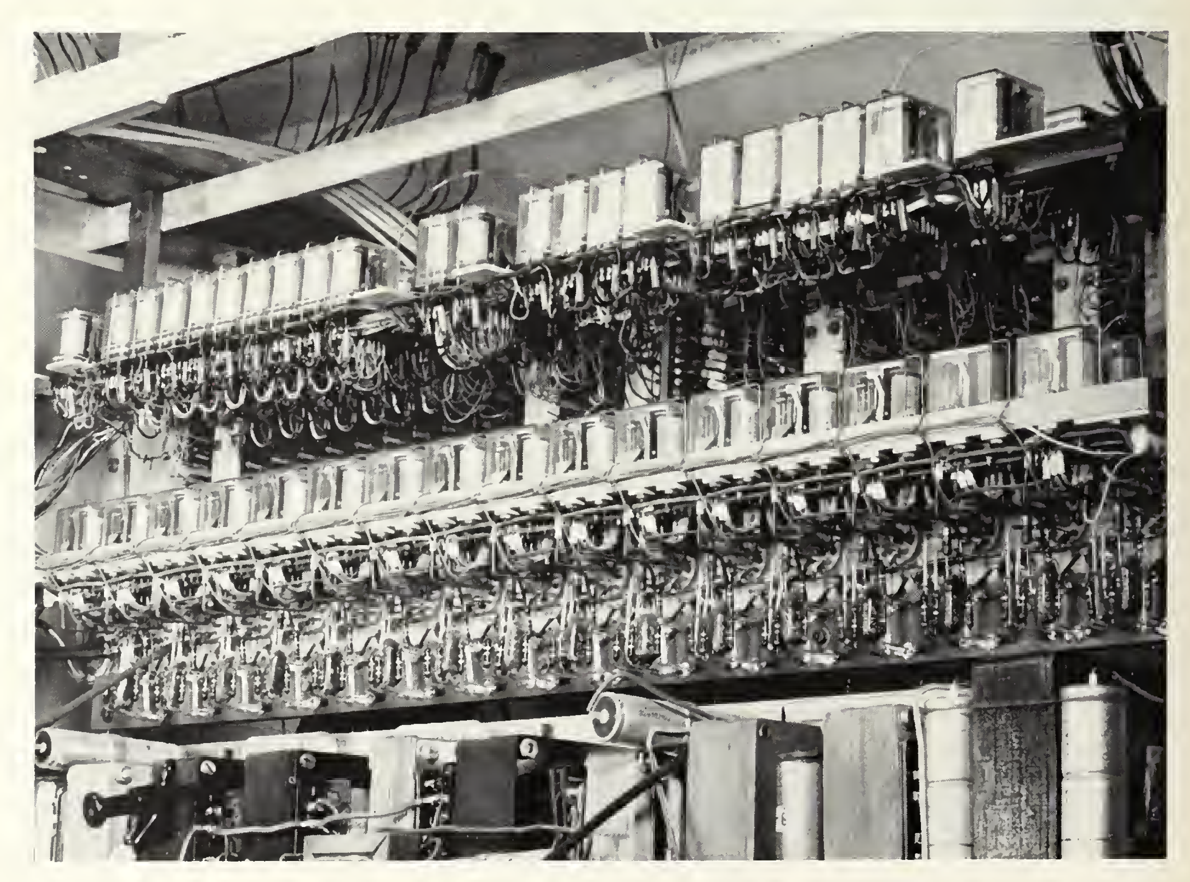


Abb. 48/8.2.1
Verbindung von Bauelementen in herkömmlicher „Kabelbaum"-Technik und mit Lötverbindung





Abb. 50/8.2.1
„Wire-Wrap"-Automat bei Remington Rand UNIVAC
Neben dem Löten von leitenden Verbindungen tritt das Verdrillen von Drähten in den Vordergrund, weil es die Gefahr der Überhitzung empfindlicher Bauelemente ausschließt und – wie hier gezeigt – mit dem mit Lochkarten nach zwei Koordinaten gesteuerten Legen der Drahtverbindungen (besonders für die großen Stellrahmen) in einen automatischen Arbeitsgang verknüpft werden kann.



Abb. 49/8.2.1
Das manuelle Anfertigen von weitverzweigten Kabelbäumen ist fehleranfällig und mühsam.
(Abb. aus Bull-Informationen 1)



Abb. 51/8.2.1
Verdrahten der Einschübe der Zentraleinheit B 200 mit „Wire-Wrap"-Automat, mit je rd. 5000 Verbindungen (Foto: Equipment and Systems Division, Burroughs Corp.)

8.2.2 Baugruppen werden zusammengefaßt zu Einheiten, deren Schaltverbindung im voraus festgelegt sind.

Im Interesse leichter Auswechselbarkeit werden die zum großen Teil gleichartigen und häufig gebrauchten Schaltungsgruppen zweckmäßigerweise zu Einheiten zusammengebaut und an den entsprechenden Stellen der Gesamtschaltung eingesetzt. Oft wurden diese Einheiten mit Röhrensteckern versehen, um sie mit vorhandenen Mitteln leicht auswechselbar zu machen. Innerhalb solcher „Steckeinheiten" wurden die Einzelelemente anfangs noch in herkömmlicher Weise verdrahtet. Mit Einführung der Halbleiter-Schaltelemente bürgerte sich die flache Steckplatte ein, welche bald mit vorgefertigten Leitwegen versehen wird (Abb. 6—8/8.2.2).

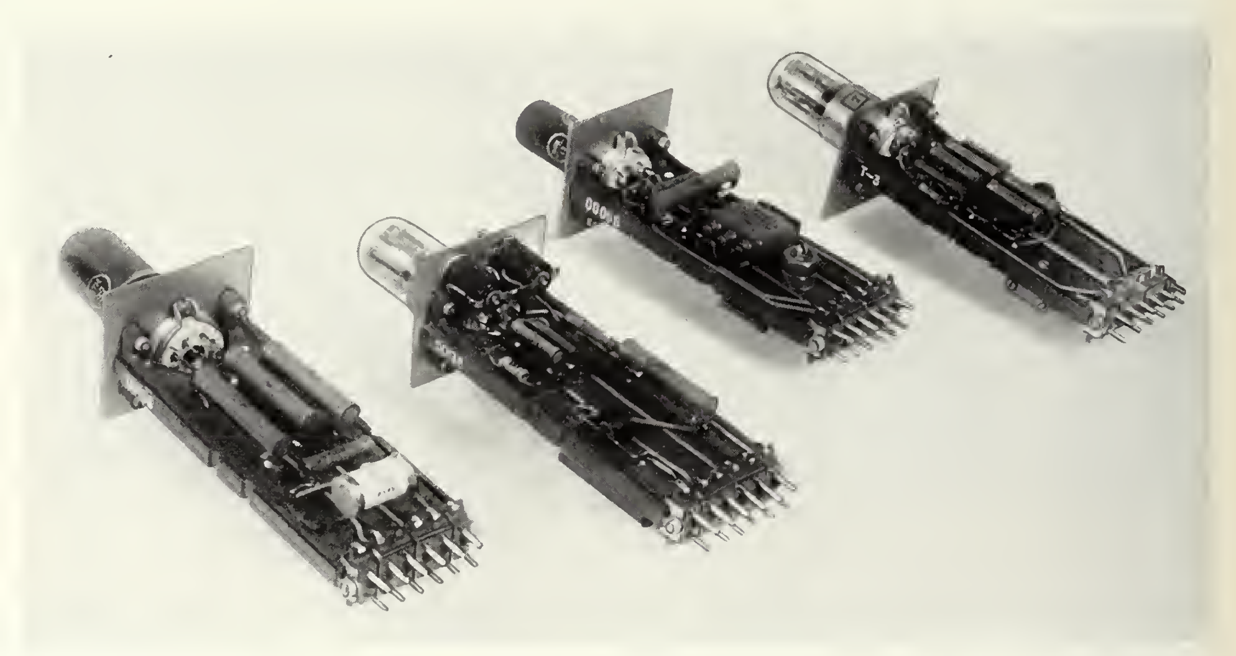


Abb. 52/8.2.2
Röhren-Steckeinheiten in Draht-Schaltung (URAL, UdSSR)

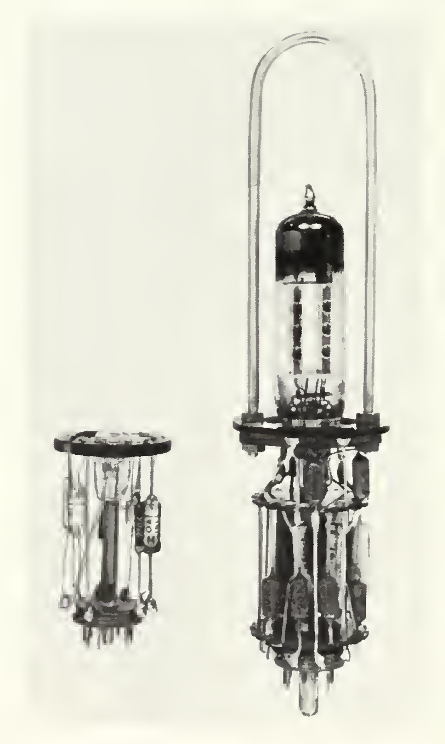


Abb. 53/8.2.2
Röhren-Steckeinheiten der G 3

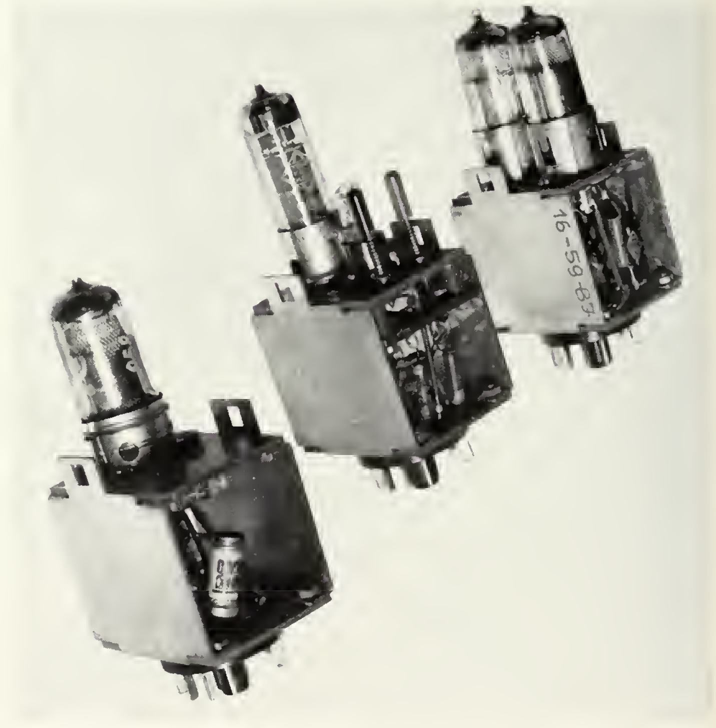


Abb. 54/8.2.2
Steckeinheiten der PERM (München)
Impulsgatter, Flip-Flop und Schieberegister-Stelle

Außer zum Aufbau der Steckeinheiten selbst dienen vorgefertigte Leiterplatten auch zur Aufnahme mehrerer solcher Steckkarten, also zum Ersatz der einzel gefertigten freien Verdrahtung und der Kabelbäume; insbesondere im Zuge der Miniaturisierung der Baugruppen wird versucht, diese auf größere Schaltplatten oder selbst in dreidimensionale Anordnungen von ineinandergesteckten vorgefertigten Leiterplatten einzusetzen.

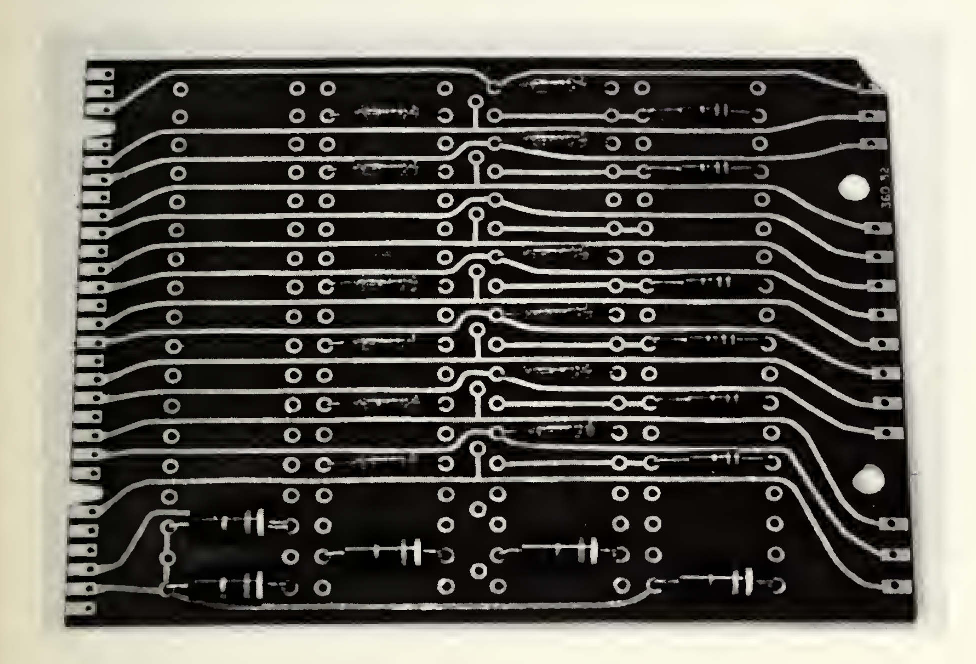


Abb. 55/8.2.2
Schaltplatte mit vorgefertigten Leitungen

Geschichtliche Entwicklung

1927 Telefunken baut Verstärker, bei denen Messingstreifen auf eine Isolierplatte aufgenietet werden.

1933 Fa. Hescho (Hausdorf) stellt gedruckte Schaltungen auf keramischer Basis her.

1939 Herstellung von kompletten Schaltgruppen, die neben der reinen Leitungsführung auch gedruckte Induktivitäten und gedruckte Widerstände enthalten.

1940 Eisler (England) entwickelt metallkaschierten Isolierstoff, auf dem das Leitungsmuster durch einen Ätzprozeß freigelegt wird.

1942 Ordnance Development Div. of National Bureau of Standards (USA) beginnt die Entwicklung geätzter Schaltungen.

1945 National Bureau of Standards (USA) (Brunetti): erste Serienfertigung. Kommerzielle Anwendung für Hörhilfen.

Vorgefertigte Schaltverbindungen können aufgebaut werden
1. als „geätzte" oder „gedruckte" Schaltung — hier wird eine metallkaschierte Isolierplatte nach Offset- oder Siebdruck oder phototechnisch mit einem Deckmuster versehen, welches beim nachfolgenden Abätzen des überschüssigen leitenden Werkstoffes die gewünschten Leitwege schützt (Abb. 55—57/8.2.2).

2. Es ist auch möglich, mit einer metallischen „Farbe" die gewünschten Leitungen auf den (meist keramischen) Isoliergrundstoff direkt aufzudrucken; danach erfolgt ein Einbrennvorgang, der das Bindemittel der Farbe entfernt und das Metallpigment mit dem Träger verbindet.

Die Schaltelemente werden danach auf der Trägerplatte befestigt und mit den Leitungswegen durch Löten verbunden. Üblicherweise werden dazu ihre Anschlußdrähte durch Löcher des Trägers gesteckt, so daß die Schaltelemente auf einer, die Verbindungen auf der mit dem Leitermuster versehenen anderen Seite der Trägerplatte zu liegen kommen. Alle Lötstellen dieser Rückseite werden dann gemeinsam ausgeführt, indem sie über eine Welle flüssigen Lötzinns hinweggeführt wird, wobei Leitungswege und Lötstellen mit Zinn überzogen werden.

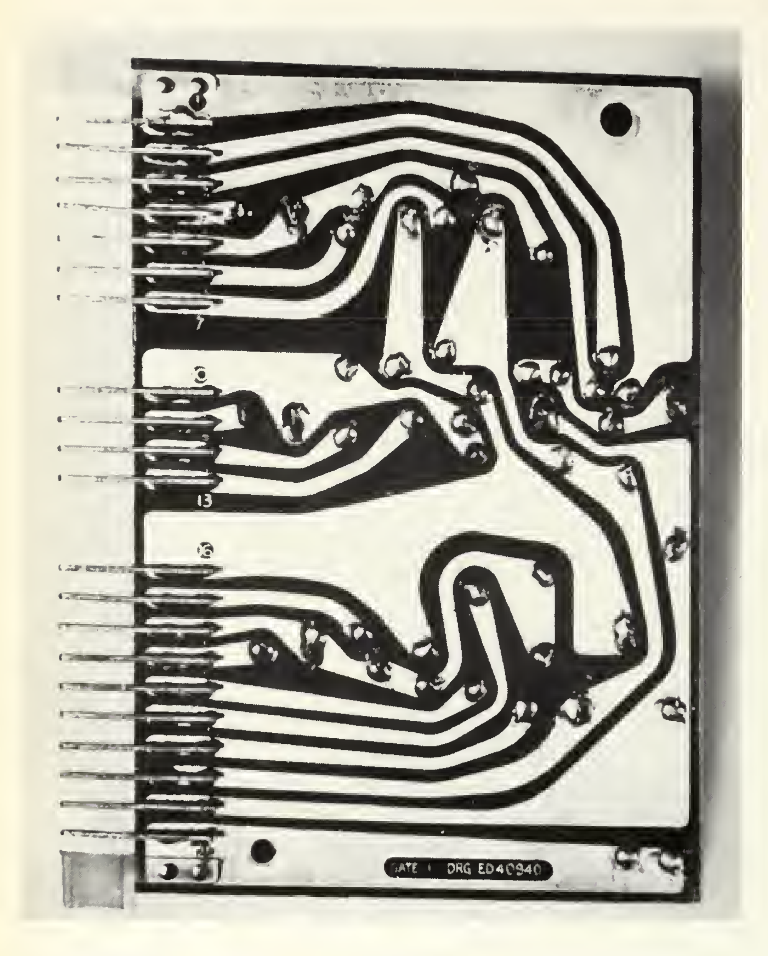


Abb. 56/8.2.2
Verbindung von Bauelementen in gedruckter Schaltungstechnik (ICT 1301)
Abb. 56 zeigt eine Ausführung, bei der nur Isolierlinien herausgeätzt wurden. Bei der in Abb. 57 gezeigten Ausführung dagegen wurden nur die Leitungslinien stehengelassen.

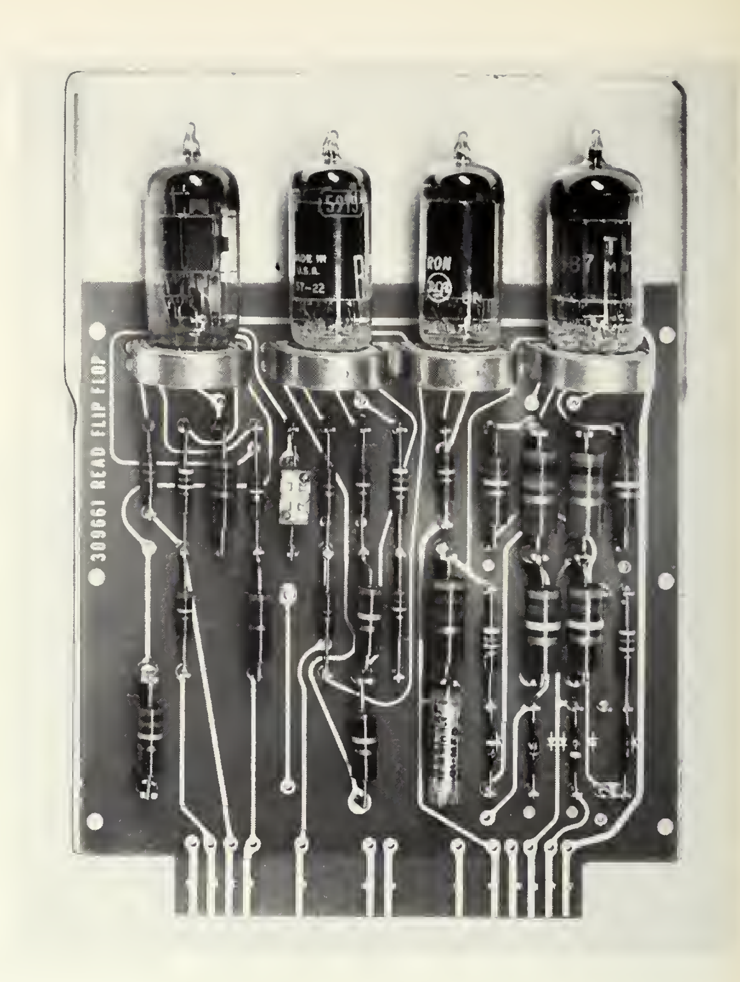


Abb. 57/8.2.2
Röhren-Steckeinheit in geätzter Schaltung (LGP 30 der Royal Precision Corp. USA)

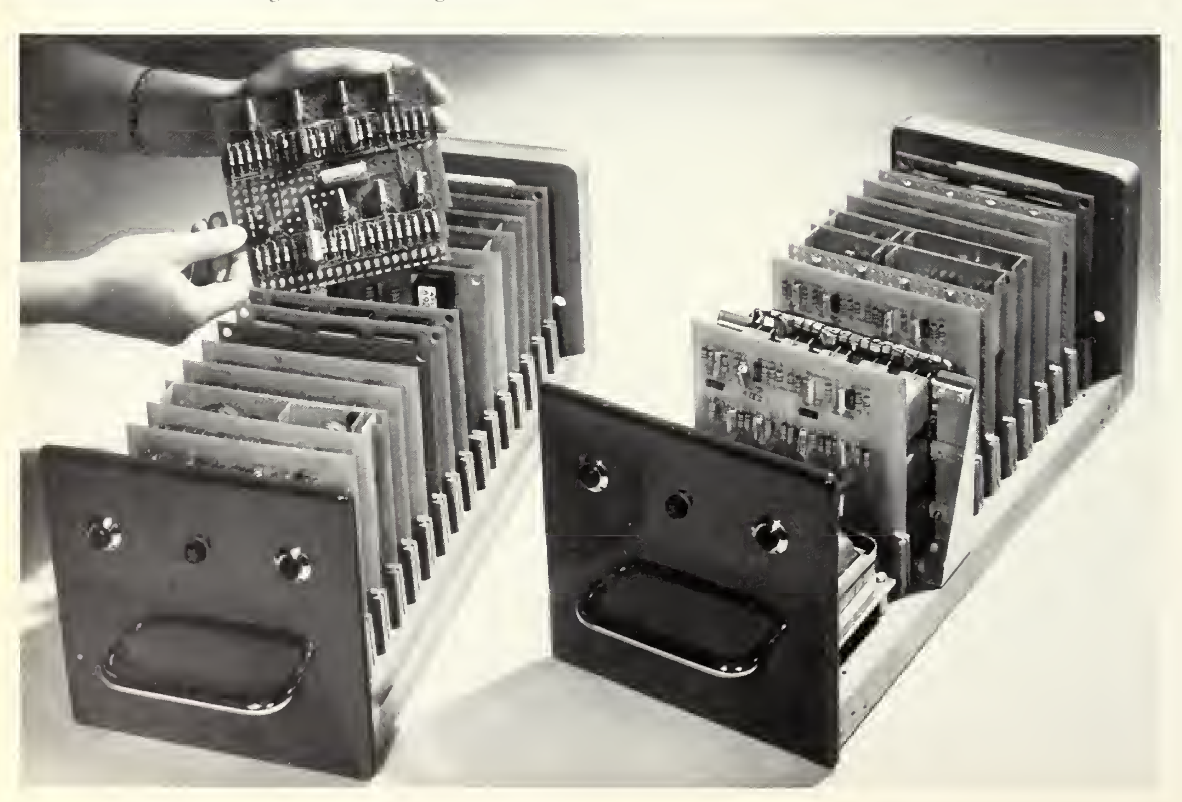


Abb. 58/8.2.2
Zusammenfassung von verdrahteten Steckeinheiten zu kompletten Einschüben (Ferranti, England)

Die Schaltplatte wird ohne weitere Ausrüstung als „Print" oder „Steckkarte" mit ebenfalls angelöteten Steckverbindungen in die Gesamtschaltung eingesteckt, oder, bei vielteiligen und schweren Einheiten, zuvor in einen sie tragenden und schützenden Rahmen montiert, der dann auch die Steckleisten trägt (Abb. 59/8.2.2).

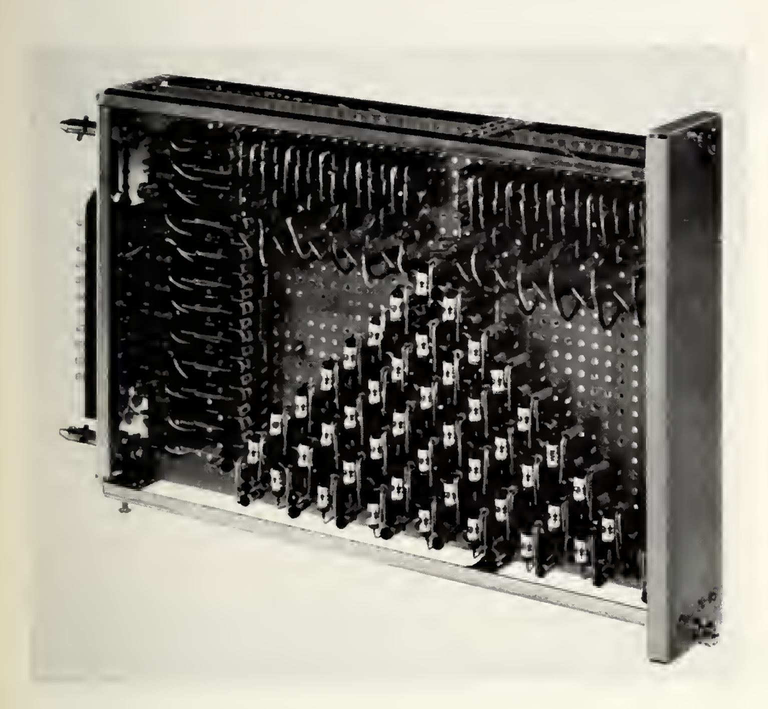


Abb. 59/8.2.2
Steckeinheit mit Dioden-Halbmatrix des SEL-Rechners ER 56 als Rechenwerk mit Zuordnung der Summe zu beiden Summanden: Beispiel einer vorgelochten Rasterplatte aus Hartpapier zum Einstecken der Bauelemente.

Literatur: Danko, S. F.: Printed Circuits and Microelectronics. Proc. IRE (1962) Mai, S. 937–945.

Wyma, E. R.: A three-Dimensional Printed Back Panel. IBM Journ., Jan. 1957, S. 32–38.

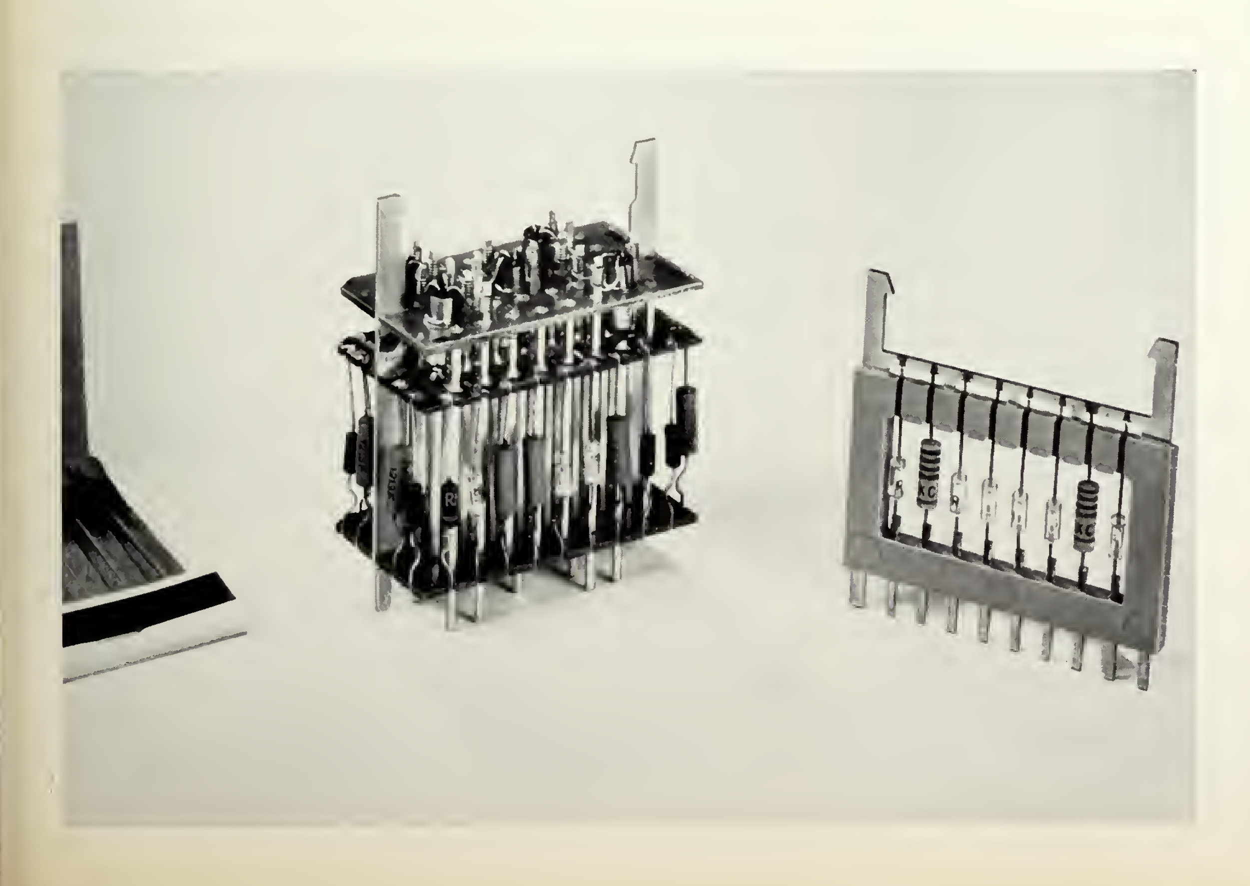


Abb. 60/8.2.2
Transistor-Steckeinheiten und Einzel-Steckplatte in kleinster Bauweise ergeben bis zu 60% Raumersparnis gegenüber üblichen Steckeinheiten. Burroughs B 5000 Datenverarbeitungsanlage, 1961

8.2.3 Mikro-Bausteine

Die Bemühungen, steckbare Bausteine möglichst klein zu bauen, führen zur „Mikromodul-Technik" (Abb. 62-65/8.2.3), welche mehrere Bauelemente in einem Block zusammenfaßt und dadurch auch viele Lötstellen einspart — mit dem Erfolg größerer Zuverlässigkeit.

Vorstufe dazu war die „Solid Logic Technology" SLT von IBM, wobei je ein miniaturisiertes Schaltelement auf vorgefertigte Leiter aufgelötet wurde. Bei der „Integrated Ciruit"- oder „Monolith"-Technik enthält ein Miniatur-Baustein mehrere Schaltelemente, d. h. meist eine komplette Baugruppe; er wird durch kombinierte Fotoätz- und Diffusions-Verfahren unter Vakuum zu vielen Hunderten gleichzeitig auf einem Siliziumscheibchen hergestellt.

Für die Zwecke der Steuerung von Raumfahrzeugen (Raketen, Satelliten) müssen extrem kleine und leichte Rechenanlagen geringsten Stromverbrauchs gebaut werden; hierdurch wird die Entwicklung neuer Bauelemente und Bauweisen vorangetrieben.

Zu den ersten kleinen Rechnern noch üblicher Bauweise gehörten TRADIC (s. Abb. 1/7.1), dessen Größe etwa 3 Kubikfuß betrug und der 800 Transistoren und 11 000 Germaniumdioden enthielt [1], und PICO von Minneapolis-Honeywell, mit ca. 8 kg Gewicht, von der Größe eines Radiogerätes. Kernspeicher für 3072 bis 8192 Wörter, Lesezeit 12 μs für ein 24 Bit-Wort; zu öffnen wie ein Buch mit 4 Platten; 45 Watt Stromverbrauch.

Erster Miniaturrechner mit Micrologic-Elementen in Transistor-Größe (von Fairchild Semiconductor) war MARTAC 420 von Martin Co. [2].

Spezielle Rechner für Einbau in Raumfahrzeuge waren [3] „HCM-202" Dünnfilm-Computer von Hughes, „MAGIC", „ARMA", „UNIVAC ADD" (s. Abb. 49/7.3) mit Dünnschichtspeicher für 166 000 Bits und einer Zykluszeit von 100 bis 50 ns; 34 kg Gewicht; Ausführung in kompakt vergossener Schaltung; dieser „Aerospace Digital Development" Computer wurde zur Navigation und Nachrichtenübermittlung eingesetzt; „Burroughs D 210" Magnetic Computer (Abb. 66/8.2.4).

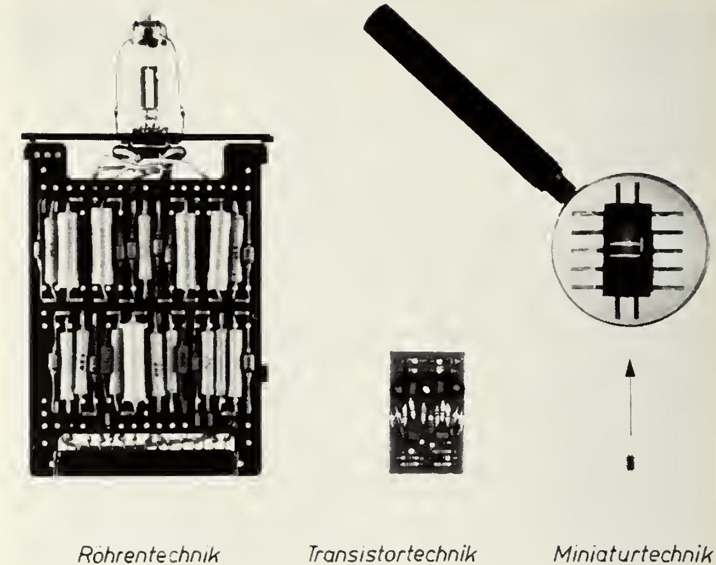


Abb. 61/8.2.3
Miniaturisierung der Baugruppen

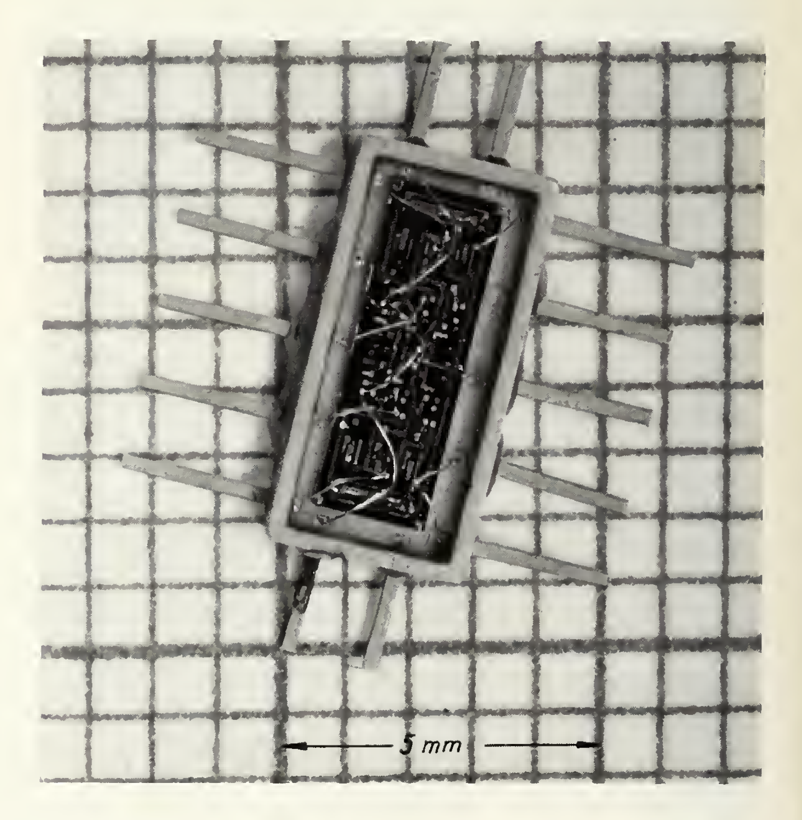


Abb. 62/8.2.3
Mikro-Bauelement der Texas Instrument Co., enthaltend: 5 Transistoren, 6 Dioden, 7 Widerstände, 5 Kondensatoren.

Literatur: [1] — — : *New Transistor Computer Developed for the Air Force. Bell Labs Record (April 1955) S. 155–156.*
[2] *Computers & Automation (Juli 1962).*
[3] *Proc. Spaceborne Computer Engng. Conf. IRE (1963).*

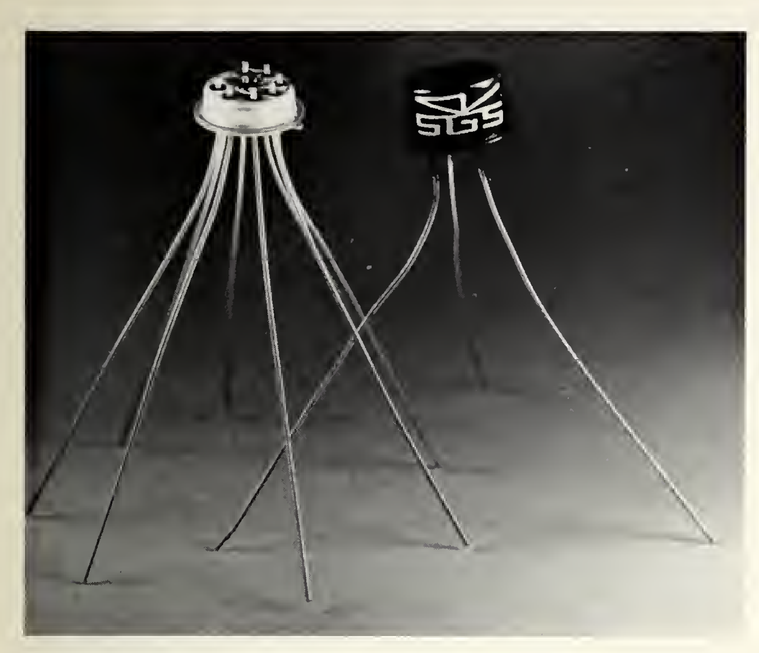


Abb. 63/8.2.4
Mikromodul-Element von Fairchild (links) und – als Größenvergleich – Transistor von S. G. S. (rechts)

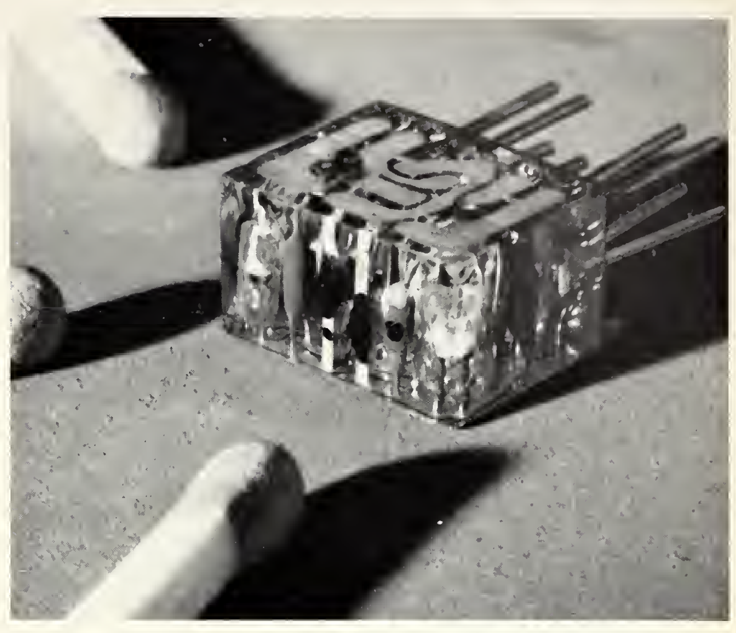


Abb. 65/8.2.4
Mikro-Block-Bauweise (Siemens, 1963)
In einem Block von 1 cm³ Volumen können bis zu 30 Bauelemente herkömmlicher Größe zusammengeschaltet werden. Sie werden mit Kunstharz vergossen und sind damit gegen äußere Einflüsse gut geschützt.



Abb. 64/8.2.4
Vergrößerung eines Micrologic-Elements (Fairchild)
Das Plättchen in der Mitte enthält 2 Transistoren und bis zu 8 Widerstände bzw. Kondensatoren, die durch Aufdampfen bzw. Diffusion aus einem Siliziumkristall hergestellt werden.



Abb. 66/8.2.4
Burroughs D 210
Ein Beispiel der kleinsten speziellen Datenverarbeitungswerke in Mikromodul-Technik für die Steuerung und Überwachung von Satelliten. Stromverbrauch ca. 60 W, Gewicht ca. 9 kg. Die Einschübe enthalten von links nach rechts: Matrix- und Daten-Register, 2 Programmspeicher, Konstantenspeicher, Datenspeicher, Ein/Ausgabesteuerung, 2 Unter-Programmspeicher, Mikroprogramme, Adreßregister. Hersteller: Burroughs Electronic Component Div. (Siehe auch UNIVAC 1824 Abb. 48/7.3.)

8.3.1 Mechanische Speicherwerke

In den dezimalen mechanischen Rechen- und Buchungsmaschinen dienen im allgemeinen die Zählwerke auch als Speicher; wenn sie als reine Speicherwerke keine Ziffern anzuzeigen brauchen, können sie natürlich kleiner und versteckt angeordnet sein. Sind mehrere Speicherwerke wahlweise anzurufen, so sitzen sie beispielsweise auf Mantellinien einer drehbaren Trommel, durch deren Drehung sie in Eingriff mit dem Einstell- und Abfragemechanismus gebracht werden.

Das große Speicherwerk der Statistikmaschine *LogAbax* mit linear verschieblichen Ziffern-Zahnstangen ist in Abb. 42/1.2 gezeigt.

Bei binärer Zahlendarstellung ist das Speichern einfacher, weil je Binärstelle ein mechanisch verschiebliches Element nur in zwei unterscheidbare Lagen eingestellt werden muß, um die Ziffern 0 und 1 wiederzugeben. *Phillips* zeigte das um 1936 durch Stifte in einer Platte (Abb. 3/5.3). Beim *ARC* (siehe 5.6.1) war eine umlaufende Trommel als Speicher eingebaut, deren radial verschiebliche Stifte durch eine Magnetzeile nach innen oder außen verschoben werden konnten und zum Abfragen eine Kontaktzeile betätigten [1]. Mit ähnlichen *„Pin Wheel"* werden heute noch langsam laufende Sondermaschinen, wie Briefverteilanlagen, zur Einspeicherung und synchronen Fortschaltung von Steuerbefehlen zur Weichenstellung ausgerüstet, oft auch mit achsial verschieblichen Stiften am Umfang einer umlaufenden Kreisscheibe [2] [3].

Zuse baute, wie in Abb. 15/5.4.6 gezeigt, seinen mechanischen Speicher für die Z 4 aus zwischen ebenen Schaltblechen verschieblichen kleinen Stiften und erreichte damit noch kleinere Abmessungen.

Literatur: [1] *Booth, A. D. und Booth, K. H. V.: Automatic Digital Computers. Butterworths Scientific Publications, London 1953, s. S. 114.*
[2] *Walter, Leo: Cold Cathode Matrix and Mechanical Pin-Wheel Memory Used in British Sorter. Automatic Control (Juli 1959), S. 16.*
[3] *– – : Pinwheels pick post. Control Engng. 4 (1957) 11, S. 132–135.*

8.3.2 Bistabiler Multivibrator (Flip-Flop)

Ein *Flip-Flop* ist ein in sich zurückgekoppelter, verstärkende Glieder enthaltender Schaltkreis, welcher zwei stabile Zustände einnehmen kann und diese beibehält, also als Speicher für eine Binärstelle dienen kann.

1919 Eccles und Jordan beschreiben das Röhren-Flip-Flop (Radio Revue, Dublin/Irland); ab 1955 Transistor-Flip-Flop verdrängt die Röhrenschaltung.

8.3.2.1 Flip-Flop in Röhrenbauweise

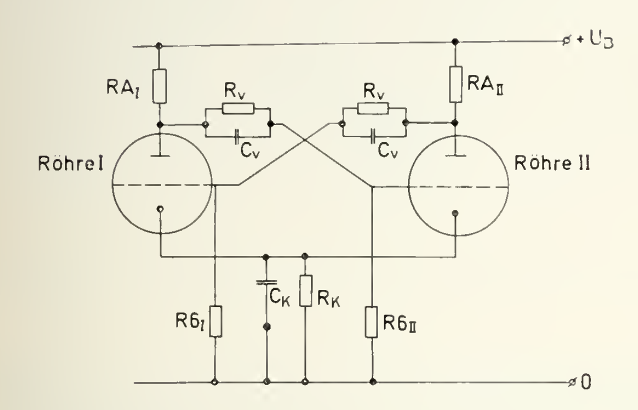


Abb. 67/8.3.2.1
Röhren-Flip-Flop Grundschaltung mit 2 Röhren

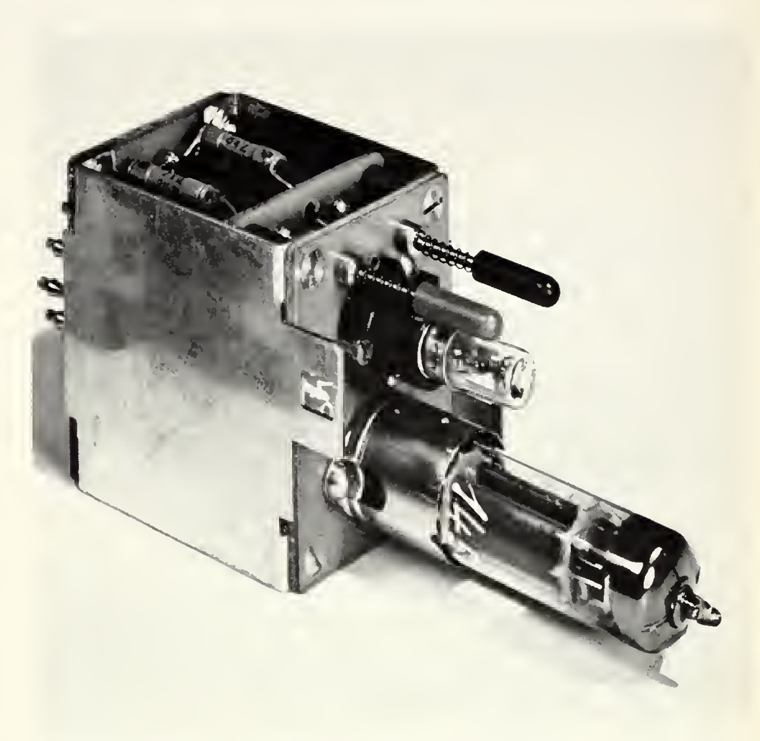


Abb. 68/8.3.2.1
Röhren-Flip-Flop mit einer Doppeltriode als Steckeinheit (PERM München), siehe auch Abb. 8/8.2.2

8.3.2.2 Flip-Flop in Halbleiterbauweise

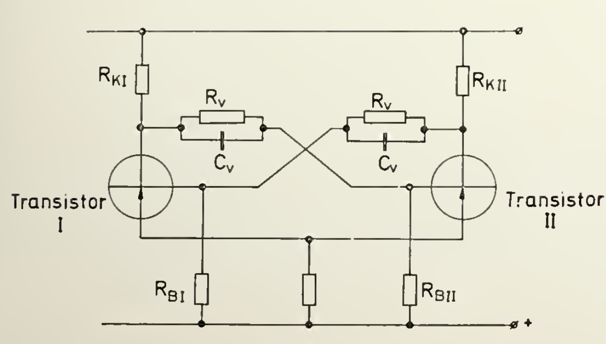


Abb. 69/8.3.2.2
Transistor-Flip-Flop Grundschaltung



Abb. 70/8.3.2.2
Steckeinheit mit 2 Transistor-Flip-Flops (IPM Darmstadt)

8.3.3 Laufzeitspeicher

Die im Vergleich zur elektrischen Fortleitung langsame Schallgeschwindigkeit wird in Verzögerungs- oder Laufzeitstrecken zur Speicherung ausgenutzt.

8.3.3.1 Quecksilberspeicher

Bei 1 MHz Impulsfrequenz lassen sich 1000 Impulse in einem Rohr von 1,45 m Länge speichern, die Verzögerung bzw. die Laufzeit ist darin gerade 1 ms. In diesem Takt lassen sich die im Speicherkreis umlaufenden Impulse wieder herauslesen. Nachteil der Quecksilberspeicher war deren Temperaturabhängigkeit, die es erforderlich machte, sie in Thermostaten einzusetzen.

Quecksilber-Verzögerungsspeicherstrecken wurden eingebaut in England: in den Rechenanlagen LEO II (Leo Computers Ltd., zur Lyons-Gruppe gehörend); als Schnellspeicher 14 Wörter (39 Bits), als Arbeitsspeicher 2048 Wörter, mittlere Zugriffszeit 0,16 ms; DEUCE II (English Electric Co., Ltd.) 402 Wörter; in den USA: EDVAC als erster Prototyp; SEAC (National Bureau of Standards) 64 Röhren, davon innerhalb von drei Jahren nur eine ausgetauscht (Abb. 72-73/8.3.3.1); ONR-NBS (Raytheon Manufacturing Co., Boston, für das Office Naval Research); BINAC und UNIVAC.

Literatur: Richards, R. K.: Digital Computer Components and Circuits. Van Nostrand Verlag, Princeton 1957.
Mebs, R. W., Darr, J. H. und Grimsley, J. D.: Metal Ultrasonic Delay Lines (SEAC). Journ. Res. Nat. Bur. Stand. 51 (Nov. 1953) S. 209–220.
Steinbuch, K.: Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung. Springer-Verlag, 1962; mit 20 Literaturangaben (S. 644).

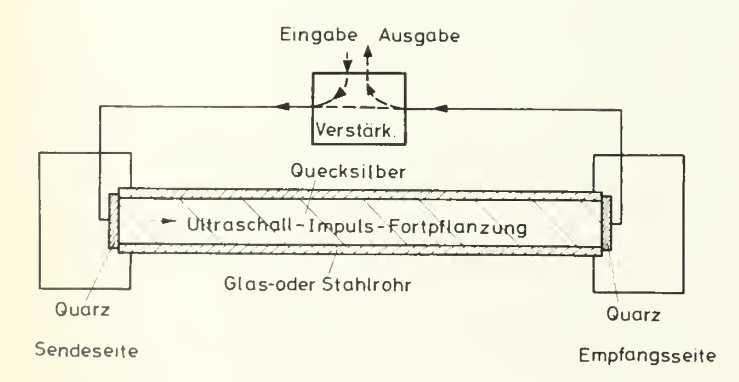


Abb. 71/8.3.3.1
Grundschema eines Ultraschall-Laufzeitspeichers mit Quecksilberröhre; der piezoelektrische Effekt in Quarzen dient als Impulswandler.



Abb. 72/8.3.3.1
Quecksilberspeicher des SEAC (National Bureau of Standards)

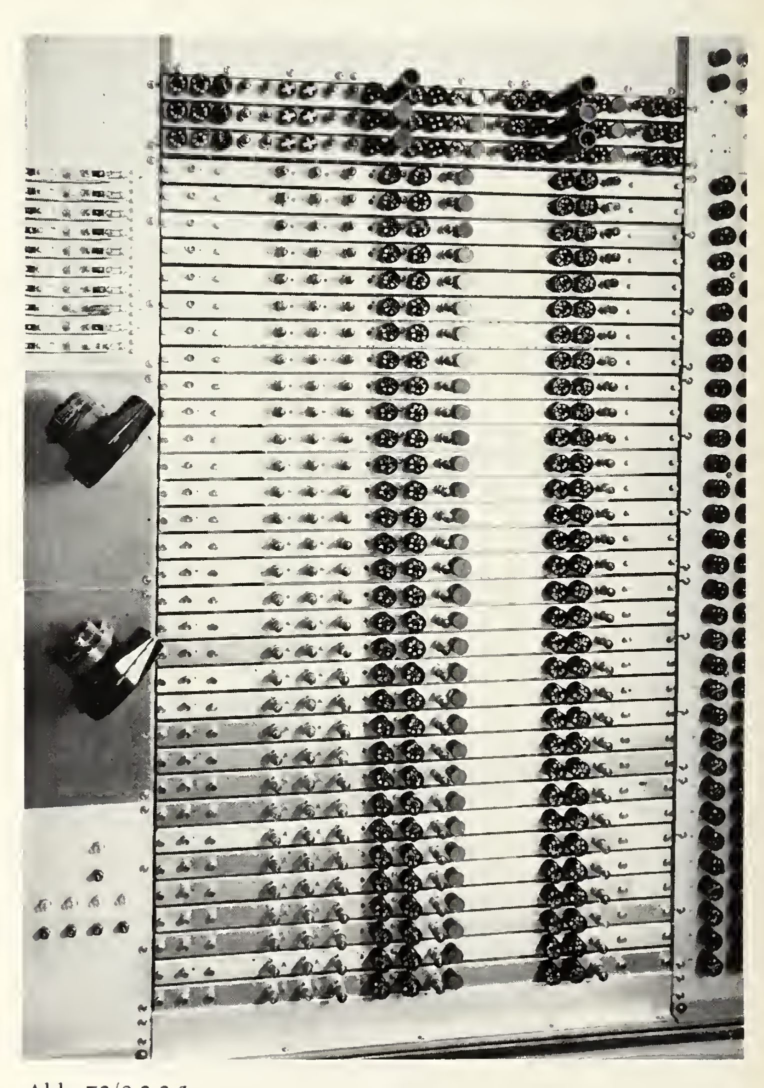


Abb. 73/8.3.3.1
Gestell mit Quecksilber-Laufzeitspeicher des SEAC (National Bureau of Standards)

Für eine Laufzeit von 1 ms sind etwa 5 m Drahtlänge vorzusehen, die allerdings — elastisch gehalten — zu einer Rolle ausgewickelt werden können. Die Speicherkapazität des Drahtes ist geringer als die der Quecksilberleitung, doch ist der Aufbau einfacher und raumsparend. Daher wurde diese Verzögerungsleitung nicht nur um 1955 (im BULL Gamma 3, Ferranti Pegasus und Elliott 402 und 405), sondern auch in neueren Rechnern noch häufig eingebaut (z. B. im Packard-Bell PB 250 mit 1808 . . . 15 888 Wörtern bei im Mittel 24 μs Zugriffszeit, und im EMIDEC 2400 mit 64 Wörtern bei 4,5 μs Zugriffszeit).

Deltime Inc. bietet 1962 Magnetostriktions-Speicher mit 5 und 10 ms Verzögerung bei 655 kHz Umlauffrequenz an.

Literatur: Fairclough, J. W.: A Sonic Delay-line Storage Unit for a Digital Computer. Proc. IEE Part B 103 (April 1956) Suppl., S. 491–496.
Scarott, G. G. und R. Naylor: Wire-type Acustic Delay-line for Digital Storage. Proc. IEE Part B 103 (April 1956) Suppl., S. 497–508.

Permanentmagnet
Nickeldraht
Magnetostriktions-wellen
Schalltote Halterung i. Gummi
Eingeben
Auslegen
Reflexionsfreie-Halterung
Senderspule
Empfängerspule
Verstärk.

Abb. 74/8.3.3.2
Grundschema der Nickel-Verzögerungsstrecke. Magnetostriktiv erzeugter Ultraschall dient als Impulsträger.

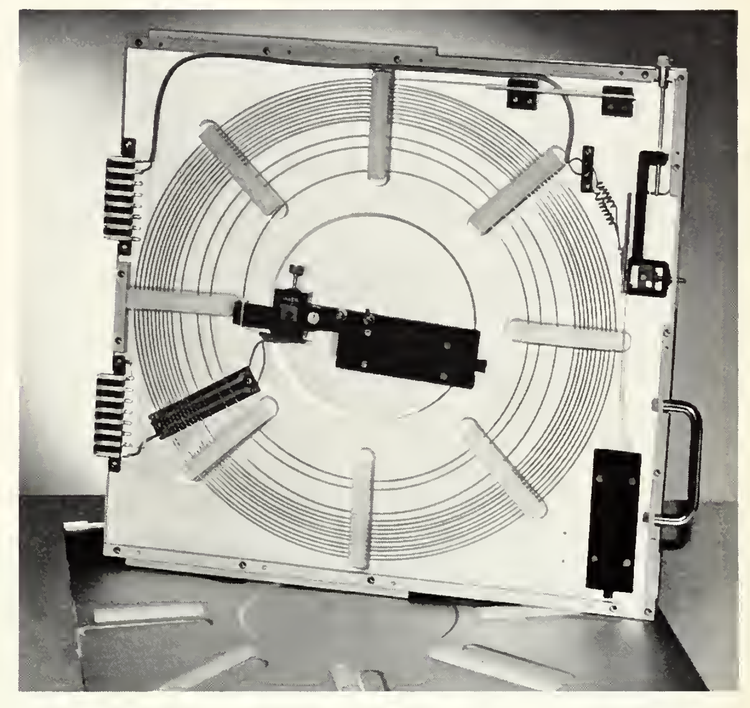


Abb. 75/8.3.3.2
Verzögerungsstrecken-Speichergruppe für 55 Wörter bei den Ferranti-Rechnern Pegasus (s. Abb. 6/6.2) und Pegasus (s. Abb. 8/6.2)



Abb. 76/8.3.3.2
Verzögerungsstrecken-Speichergruppe für 55 Wörter bei den Ferranti-Rechnern Pegasus (s. Abb. 53/6.2) und Perseus (s. Abb. 55/6.2)

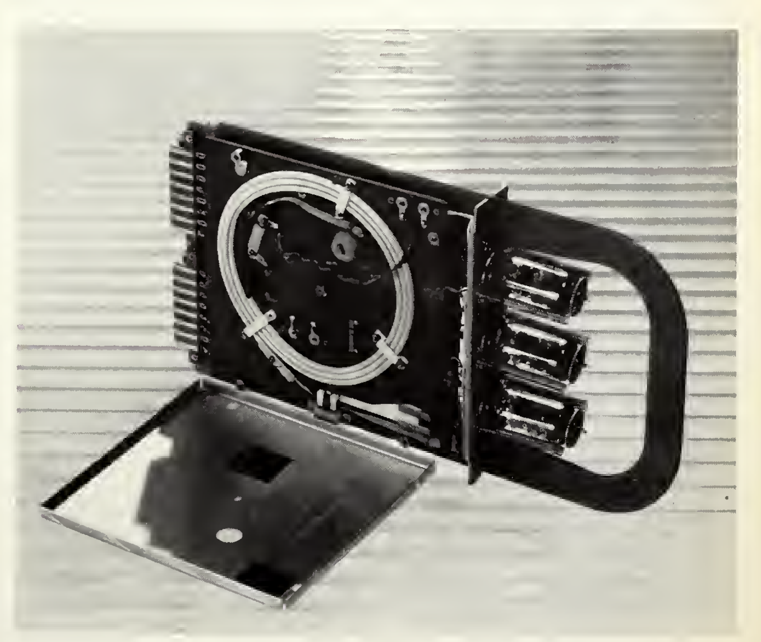


Abb. 77/8.3.3.2
Ein-Wort-Nickel-Laufzeitspeicher mit direktem Zugriff (Perseus, Ferranti); ähnlich bei National-Elliott 402 und 405 für 15 Wörter mit einer Zugriffszeit von 102 μs, auch als B-Register

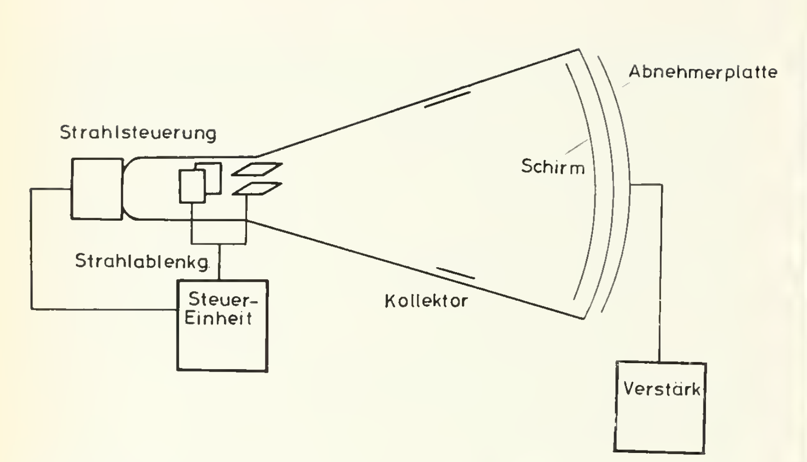


Abb. 78/8.3.4
Grundschema der Williams-Röhre



Abb. 79/8.3.4
Williams-Röhre mit Verstärker und Chassis (Manchester-Computer, später Ferranti)

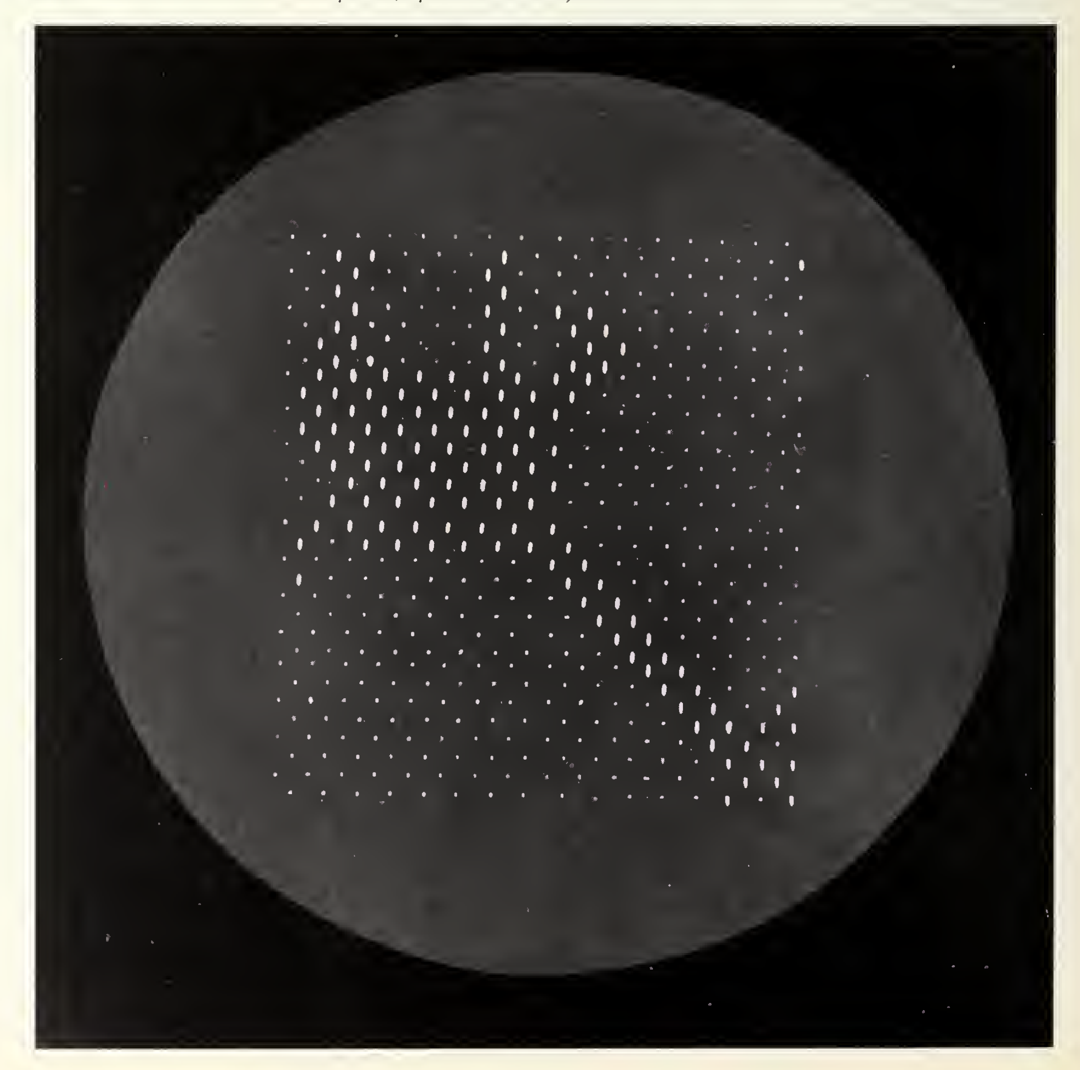


Abb. 80/8.3.4
Punkt-Strich-Muster einer Williams-Röhre. Normalerweise ist das Muster infolge der Abnehmerplatte nicht sichtbar. (SEAC von National Bureau of Standards)

8.3.4 Speicherung in Kathodenstrahlröhren

1947 entwickelte F. C. *Williams* (Manchester) die Speicherröhre. Sie wurde erstmals von John *von Neumann* beim IAS-„MANIAC"-Computer und von *Forrester* am MIT beim "Whirlwind" in Form der Rieselröhre („Holding Gun"-Röhre) eingebaut, ferner bei dem danach entworfenen ORDVAC der Universität Illinois für die Army und beim SWAC = Zephir in Los Angeles.

Die *Williams-Röhre* besteht aus einem normalen Kathodenstrahl-Rohr, an dessen Außenseite dem Schirm gegenüber eine Abnehmerplatte angebracht ist. Ihre Nutzfläche wird üblicherweise in 32 Zeilen zu 40 Bits unterteilt, so daß 1280 Speicherstellen entstehen. Zugriffszeit ist etwa 8 μs.

Die Steuereinheit dient über die Strahlablenkung zur Adressenauswahl und zur Hell-Dunkel-Steuerung des Strahls, der nicht nur zum Einschreiben und Ablesen, sondern auch zum turnusmäßigen Regenieren der Bits über die Speicherfläche geführt werden muß.

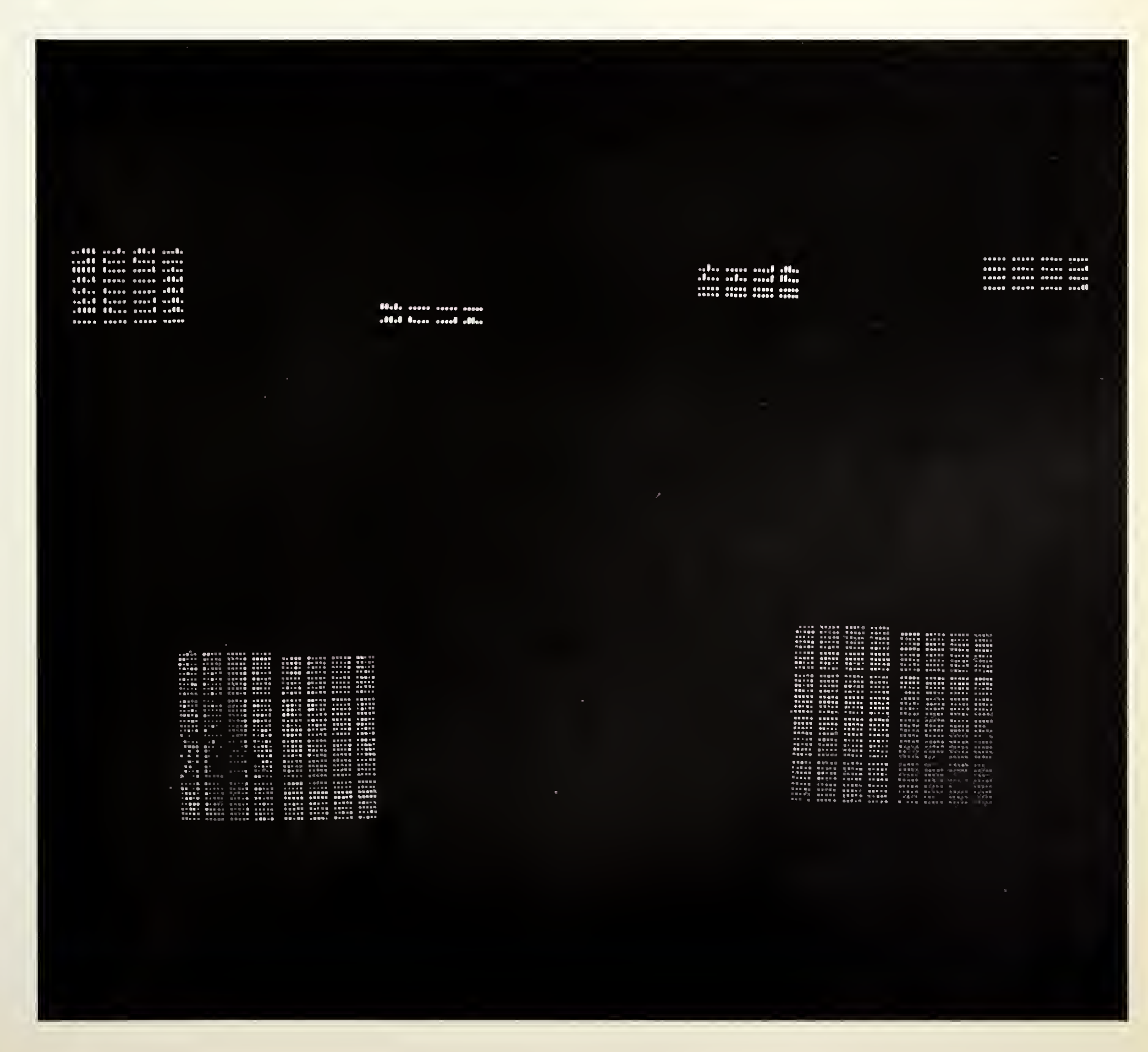


Abb. 81/8.3.4
Steuerpult-Anzeige mit binärer Darstellung in Oszillographen-Röhren (Universität Manchester); ähnlich beispielsweise auch beim Stantec-ZEBRA; (siehe auch Abb 2/9.2.1)

Für den Lese- und Schreibvorgang gibt es keine strenge Theorie außer den von *Williams* gefundenen experimentellen Erklärungen (siehe Literaturangaben).

In englischen Speicherröhren werden die Speicherzahlen vorzugsweise in Serien gespeichert bei Taktfrequenz von 100 kHz, was ermöglicht, den Speicherinhalt direkt sichtbar werden zu lassen. In den USA versuchte man, jede Stelle einzeln in entsprechend vielen parallel geschalteten Speicherröhren bei Taktfrequenzen um 1 MHz zu speichern, erreichte jedoch nicht immer die gewünschte Sicherheit. Von besonderem Nachteil ist, daß schon kurzzeitiger Stromausfall den Speicherinhalt verblassen läßt.

Die Williams-Röhre hat bis zur Entwicklung der Ferritkern-Speicher weite Anwendung gefunden; andere Bauformen der Speicherröhre (*Sperrgitter-Röhre, Rieselröhre* mit ständiger Regeneration beim Whirlwind und das *Selectron* — 1947 von *Rajchman* entwickelt — von RCA für nur 256 Bits gebaut) wurden nur noch in Einzelfällen eingebaut.

Literatur über Williams-Röhren:
Williams, F. C. und Kilburn, T.: A Storage System for Use with Binary-Digital Computing Machines. Proc. IEE 96 Part 3 (März 1949) No. 40, S. 81–100 und 97 Part 3 (Nov. 1950), S. 453–454.
Williams, F. C. und Kilburn, T.: Recent Advances in Cathode-ray-tube-storage. Proc. IEE 100 Part 2 (Okt. 1953), S. 523–542.
Litting, C. N. W.: The Physis of Cathode-ray Storage Tubes. Journ. Sci. Instr. 31 (Okt. 1954) No. 10, S. 351–356.

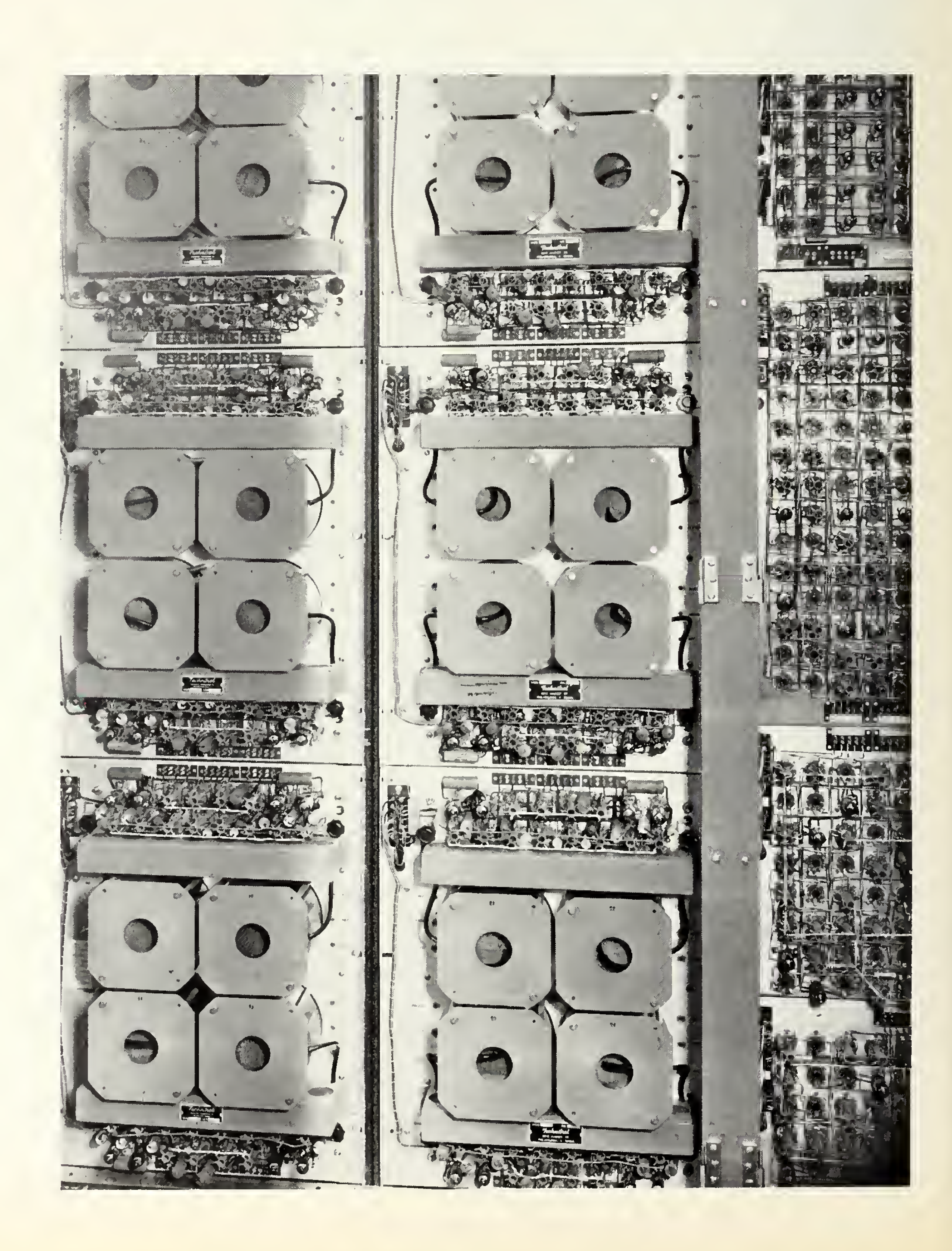


Abb. 82/8.3.4
Im Gestell montierte Williams-Röhren (SEAC National Bureau of Standards)

Diese Speicher sind im Grunde auch Laufzeit- oder Verzögerungsspeicher, weil die eingeschriebene Information erst nach einer gewissen Zeitspanne wieder abgelesen werden kann. Diese Verzögerung hängt bei umlaufenden Speichermedien (Trommel oder Endlosband) von deren Länge und Geschwindigkeit ab, bei Magnetbändern auch von den Stop- und Rückspulzeiten.

Ausgangspunkt der magnetomotorischen Speicher war das Magnettongerät mit Draht oder mit Magnetband (als Masse- oder Schichtband), das bereits als Tonträger und in Diktiergeräten eingeführt war (1898: Poulsen „Telegraphon").

Magnetdrahtspeicher wurden nicht lange verwendet; allein im SEAC wurden Speicherdrähte in kleinen auswechselbaren Kassetten wie in Diktiergeräten als Spulen eingesetzt. Die Firma IBM meldete ein Patent an über einen Schnellzugriffsspeicher aus vielen kurzen Drähten, die in einer waben- oder matrixartigen Kassette aufbewahrt wurden. Zum Ein- und Auslesen sollte einer dieser Drähte aus seinem Lagerröhrchen erst herausgeblasen und dann durch Rollen am Schreib-Lesekopf vorbei gezogen werden (DAS 1 085 361 42 m 14 vom 3. 11. 1958, Priorität USA vom 4. 11. 1957).

Remington Rand UNIVAC verwendete noch bis in neuere Zeit ein metallisches Band mit Bronze als Trägermaterial und Nickelschicht als Speicher, doch ist heute das Plastikband mit Ferritbeschichtung vorherrschend.

Der enge Luftspalt zwischen Magnetkopf und Schicht ist maßgeblich für schmale Impulse, hohe Schreibdichte und hohe Lesegeschwindigkeit bei gegebener Band-Transportgeschwindigkeit. Bei Magnetbändern schleift meist der Kopf auf der Schicht (Ausnahme: Facit-Karussellspeicher). Bei Trommeln mit ihrer starren Oberfläche würde ein schleifender Kopf die Schicht zerstören. Hier bringt man oft ein Luftpolster als Abstandswahrer ein — ebenso bei Plattenspeichern und flexiblen Magnetscheiben. Dabei kann dieses Luftpolster durch Druckluft erzeugt oder auch durch Grenzflächenwirkung selbsttätig erzielt werden.

Je schneller das Magnetband transportiert werden soll, und je kürzer die Start- und Stopzeiten des Antriebes werden, um so schwieriger wird die Nachfolgesteuerung der schweren Bandrollen.

Zuerst wurden deshalb Vorrats- bzw. Puffer-Schleifen auf gefederten Umlenkrollen angeordnet; später werden lose Schleifen in engen Kanälen gebildet und die Schleifenlänge pneumatisch oder lichtelektrisch abgetastet und die Rollenmotoren danach gesteuert. Noch geringere Ansprüche an deren Steuerung stellt das Verfahren, bei dem eine größere Länge des Magnetbandes in eine Kassette in losen Schleifen einläuft und das Gewicht der auf einem Waagehebel gelagerten Kassetten den Rollenantrieb steuert (SEL).

Bei kleineren Bandlängen kann auch die ganze Länge lose in einer Kassette liegen und als Endlos-Schleife umgespult werden (BTM), oder wenigstens von einer Rolle in die Kassette einlaufen (Facit).

Um einen sehr schnell ansprechenden Antrieb des Bandes zu erreichen, wird es meist durch eine lose Druckrolle an eine ständig umlaufende Antriebsrolle mit Gummibelag angedrückt oder zum Anhalten durch eine Klemmplatte festgehalten, wobei beide Organe auf einem gemeinsamen, magnetisch betätigten Wipphebel sitzen.

Geringere Beanspruchung des Bandes und der Ferritoberfläche ist erreicht, wenn es pneumatisch an eine ständig umlaufende gelochte Saugtrommel angesogen und dadurch mitgenommen bzw. von einer diese in geringem Abstand umschließenden Saugplatte festgehalten wird, so z. B. zuerst bei Magnetbandgeräten der Firma Bell Telephone Manufacturing, Antwerpen, neuerdings auch bei vielen anderen, z. B. CDC und Honeywell. Eine neuere Bauart arbeitet ähnlich, aber umgekehrt: durch die poröse, ständig umlaufende Antriebswalze wird Luft geblasen, wodurch das Band auf einem Luftkissen schwimmt; zum Antrieb wird es durch Druckluft an diese Antriebswalze geblasen und, ohne diese direkt zu berühren, mitgenommen (Midwestern Instruments M 3000).

Bequemeres Auswechseln der Magnetbänder als durch Ausbau beider Bandspulen läßt sich durch einfaches Einhängen in ein Vorlaufband erreichen (RCA u. a.).

Magnetbandbreite ist 1/4, 1/2 oder auch 1 Zoll; Elliott baute Geräte für magnetisch beschichteten, perforierten Kinofilm von 35 mm Breite, der in zwei Reihen mit Wortblocks beschrieben und mit etwa 75 cm/s transportiert wurde. Auf 300 m Länge waren 300 000 Wörter zu 32 Bits zu speichern.

Literatur: Schüler, Ben-Michael: Beitrag zur Geschichte des Magnetons von den ersten Schallaufzeichnungen zum Tonband. Techn. Rdsch. Bern 53 (1961) 4, S. 3, 5, 7 (6 Abb.).
Winckel, Fritz: Technik der Magnetspeicher. Springer-Verlag 1960.

Beispiele für Lesegeschwindigkeiten von Magnetbandgeräten:

Gerät		
UNIVAC III 33 333 Wörter/s	zu 24 Bits =	133 000 Buchstaben/s
IBM 7040 15 000 Wörter/s	zu 35 Bits =	90 000 Buchstaben/s
IBM 2401-3 90 000 Bytes/s	zu 9 Bits =	90 000 Buchstaben/s
Electronica X 1 7 500 Wörter/s	zu 26 Bits =	37 500 Buchstaben/s

8.3.5.1 Magnetband-Speicher

Geschichtlicher Überblick

1888 Oberlin Smith veröffentlicht in „Electrical World" vom Sept. 1888 einen theoretischen Vorschlag zur magnetischen Signalaufzeichnung.

Literatur: Smith, O.: in Electrical World Bd. 1 (1888) S. 116.

1898 Valdemar Poulsen (Dänemark) erhält Patent über magnetische Schallaufzeichnung und -wiedergabe auf Draht: „Telegraphon" (Abb. 83—84/8.3.5.1).

Literatur: Poulsen, V.: in Ann. Phys., Leipzig, Bd. 3 (1900) S. 754.

1921 Carlson und Carpenter (USA) erhalten Patent über Vormagnetisierung des Drahtes mit hochfrequentem Wechselstrom zur Störgeräusch-Unterdrückung (Abb. 85/8.3.5.1).

1928 Dr. Pfleumer (Dresden) erhält Patent über ein Magnetband, das an die Stelle des bisher verwendeten Drahtes treten soll; zuerst war das Band in der Masse mit magnetisierbarem Material durchsetzt, dann wurde es damit beschichtet.

1936 AEG und IG Farben beginnen mit der Produktion des „Magnetophons®" auf der Grundlage des Patents von Pfleumer; Agfa ist einziger Hersteller von Magnetband.

1945 Ausgehend von den AEG-Geräten beginnt die Weiterentwicklung des Band-Systems, nachdem die Agfa-Patentrechte freigegeben wurden.

1950 Erste Anwendung des Magnetbandes beim Mark III von Aiken (siehe Abb. 10—12/6.1) und beim Ferranti-Pegasus (s. Abb. 53/6.2).

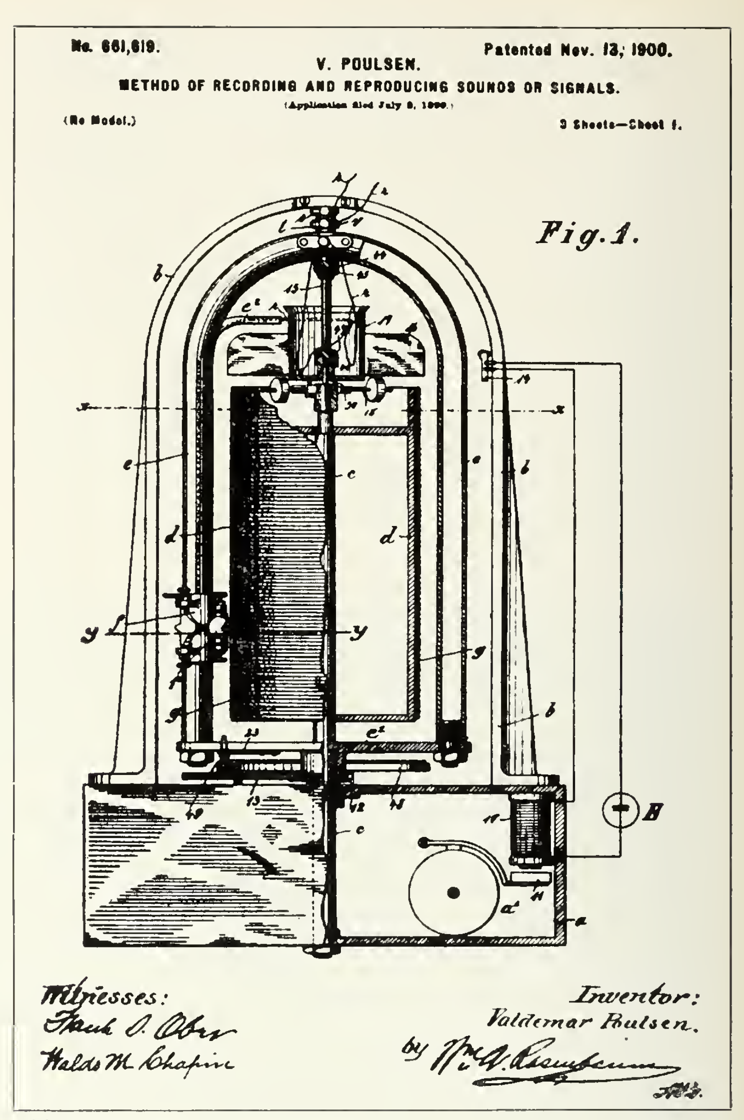


Abb. 83/8.3.5.1
Amerikanisches Patent von Poulsen

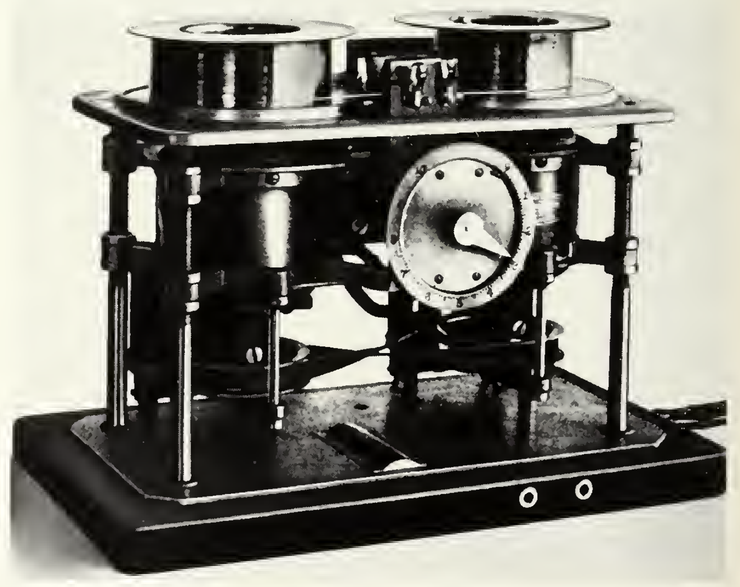


Abb. 84/8.3.5.1
Das Urbild des Magnetspeichers „Telegraphon"-Schnellspeicher nach V. Poulsen gebaut von Firma Robbins & Meyers, Springfield/USA (aus: Neher, Elektrische Schnell-Telegraphie, Springer-Verlag, 1920)

Eine interessante Magnetbandspeicher-Konstruktion für schnelleren Zugriff war das Modell „DATAFILE" zu den Rechnern Burroughs 205 und 220. Hier waren 50 Magnetbandabschnitte parallel nebeneinander über eine Antriebswelle gehängt; ein waagrecht verschiebbarer Magnetkopf wurde über das die gewünschten Daten enthaltende Band eingestellt und dieses mit der Antriebswelle verkuppelt. Kapazität war 50 Mio Zeichen, Zugriffszeit allerdings 40 s.

Ebenfalls nur noch von historischem Interesse ist der „Random Access Memory" für 500 Mio Bits der Firma Potter (um 1956). Er war eine Matrix-Anordnung von kurzen Magnetband-Streifen, die senkrecht ausgespannt in einem großen Käfig standen. Nach Auswahl des richtigen Streifens durch zweidimensionales Einstellen des Magnet-Lesekopfes wurde die Streifen-Halterung nach oben herausgefahren und so der Streifen am Kopf vorbeibewegt.

Patented Aug. 30, 1927. **1,640,881**

UNITED STATES PATENT OFFICE.

WENDELL L. CARLSON AND GLENN W. CARPENTER, OF WASHINGTON, DISTRICT OF COLUMBIA.

RADIO TELEGRAPH SYSTEM.

Application filed March 26, 1921. Serial No. 456,080.

Our invention relates broadly to signaling systems and more particularly to a reception system for radio telegraphy.

The object of our invention is to provide an improved method for receiving signals by aid of a telegraphone.

A further object of the invention is to provide a method of agitating the recording element of a telegraphone simultaneously with the recording of signals.

Heretofore when employing the telegraphone in the reception of signals it has been customary to excite the recording element with a magnetic field created by a source of direct current simultaneously with the reception of signals. The purpose of this exciting field (sometimes called the polarizing field) being to set the molecules of the magnetic recording element in motion thus sensitizing said recording element to be actuated simultaneously by the incoming signal. This may be termed overcoming the hysteresis effect of the steel wire, i. e., the recording element. When using high amplification objectionable noises are heard in the reproduction process due to the direct current excited magnetic field. These disturbances are caused from the unevenly magnetized steel wire and the vibration of the wire as it passes the reproducing signal heads.

In our improved exciting system which forms the subject matter of the present invention the advantages of the exciting system above described are obtained to a greater degree and without the disadvantages encountered in the reproducing process, i. e., objectional noises. An alternating magnetic field of preferably high frequency is used in the exciting process.

It has been found when running a telegraphone at normal speed, that frequencies of 10,000 cycles per second and above are not recorded efficiently but that they have the effect of agitating the recording element so as to greatly increase the sensitiveness of said element to feeble signal impressions.

Our invention will be more clearly understood by reference to the following drawing wherein numeral 1 represents a tuned antenna circuit, 2, a tuned input circuit associated with the vacuum tube, 3, and coupled to the antenna circuit 1. The output circuit of the vacuum tube 3 actuates the input circuit of the vacuum tube, 6, by means of a radio frequency transformer 4. Vacuum tube 6 is adjusted to operate as a detector tube and has the usual grid leak and condenser 5 inserted in the grid circuit. Audio frequency transformer 7 couples the output of vacuum tube 6 to the input of vacuum tube 8. The output of vacuum tube 8 is connected to the winding 17 of the signal head 11 on the telegraphone 10, through the audio frequency transformer 9 and variable condenser 12. The usual filament and plate batteries are associated with the vacuum tube circuits. The recording wire 15 of the telegraphone 10 passes thru the signal head 11 from reel 13 to 14. The reels are operated by electric motor drive. High frequency generator 18 energizes the exciting winding 16 of signal head 11. This generator may be for example, of the vacuum tube or alternator type. Windings 16 and 17 are wound on the same iron core.

The operation of the system is as follows: The incoming signal is selectively received, amplified and detected. The audio frequency of the incoming signal is impressed on the circuit 9, 12 and 17 which is tuned to the frequency of said audio frequency signal. A high frequency energizing current preferably above 10,000 cycles per second derived from source 18 constantly excites the winding 16. The recording steel wire 15 as it passes the pole pieces of the signal head 11 is agitated by the high frequency magnetic field created in the pole pieces by the winding 16. Under this agitation the wire 15 is sensitive to audio frequency magnetic changes superimposed on the high frequency magnetic field by the signal energy in the winding 17. An intense magnetic stress is created on the steel wire conforming with the signal energy and without leaving any trace of the high frequency exciting magnetic field on the wire.

Having thus described our invention what we claim is:

1. A telegraphic receiving system comprising in combination a signal receiving circuit, a generator of high frequency current, a movable wire recording element, a pair of magnetic core members located on opposite sides of said movable wire recording element, sets of independent windings each set comprising a pair of sections with one section disposed on each of said core members, one set of said windings being connected in said signal receiving circuit and the other set of said windings being connected with said high frequency generator.

2. A telegraphic receiving system comprising in combination a signal receiving circuit, a generator of high frequency current, a movable wire recording element, a pair of magnetic core members located on opposite sides of said movable wire recording element, a pair of windings carried by each of said core members and separately connected in series, one set of said series connected windings being arranged in circuit with said signal receiving circuit, and the other set of said series connected windings being connected in series with said generator of high frequency current whereby said core members are simultaneously saturated by radio frequency and audio frequency magnetic fields.

WENDELL L. CARLSON.
GLENN W. CARPENTER.

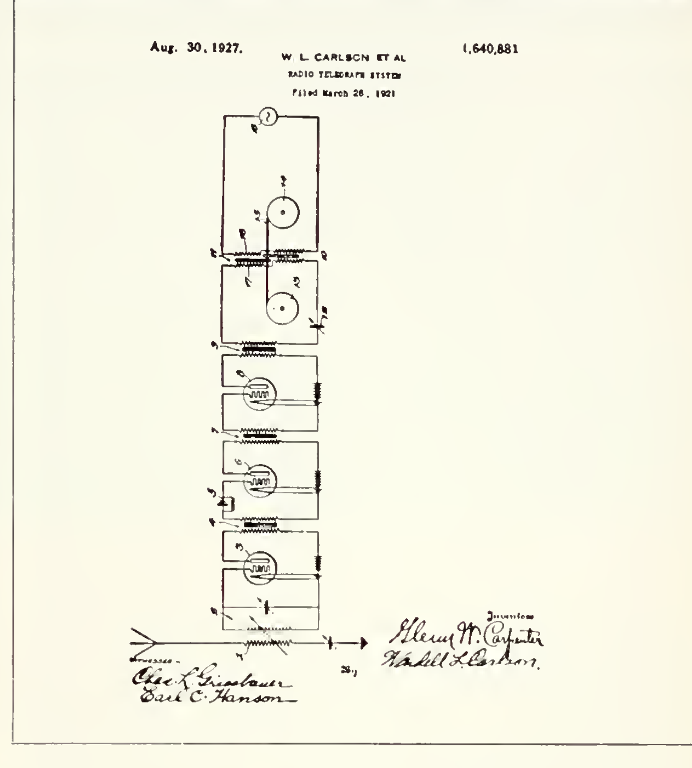


Abb. 85/8.3.5.1
Patent von Carlson und Carpenter



Abb. 86/8.3.5.1
Magnet-Band-Speicher mit auf zwei Spulen aufgewickeltem Band (Ampex) und Saugluftkammern zum Bilden von Bandschleifen als Vorrat, d. h. als Puffer, um die schweren Bandspulen dem schnellen Bandtransport in der mittleren Lesestation langsamer nachsteuern zu können.

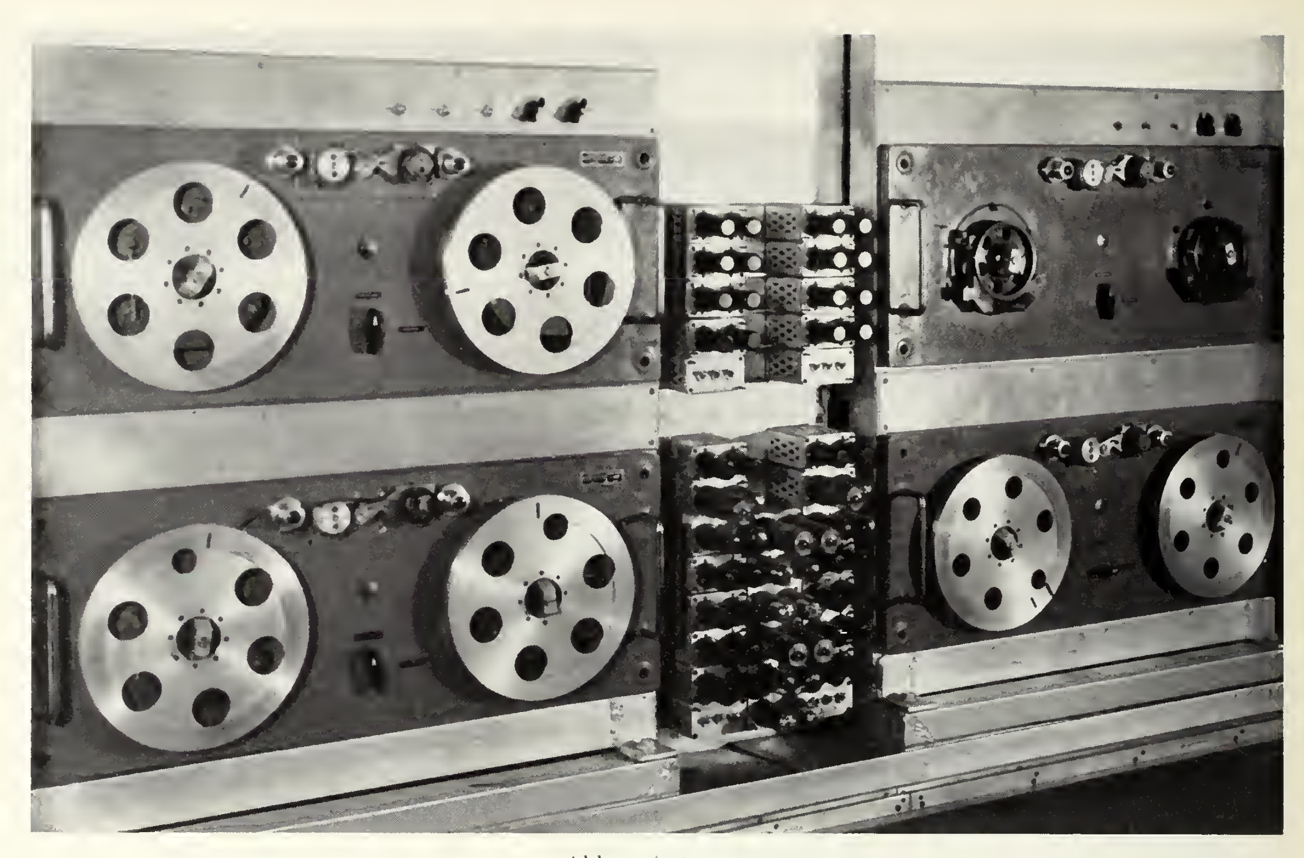


Abb. 87/8.3.5.1
Magnetbandeinheit der russischen BESM (etwa 1954). Sie enthält vier Schreib- und Lesegeräte. Bandbreite: 6,5 mm: alle vier Bänder speichern etwa 120 000 Wörter.

Ähnlich erreicht der Facit-„Karussell"-Speicher (Abb. 90/8.3.5.1) einen schnellen Zugriff: hier sind 60 kurze Bandlängen (8,5 m) auf je einem (auswechselbaren) Röllchen aufgespult, und alle diese auf einer ebenfalls wechselbaren und drehbaren Platte (dem Karussell) gelagert. Zum Schreiben bzw. Lesen wird die Platte gedreht, bis das richtige Bandröllchen in Position steht, dann das Band abgespult, wobei es mit geringem Abstand mit 5 m/s an den Magnetköpfen vorbeiläuft und sich in eine Kassette einlegt. Speicherkapazität ist etwa 3 Mio Zeichen, mittlere Zugriffszeit 1,9 s.

Im allgemeinen werden auf Magnetband von 1/2 Zoll Breite die Bits eines Zeichens parallel eingespeichert in einer Sprosse des Bandes, das also 6 Datenspuren, eine Prüfbitspur und gegebenenfalls eine Taktspur trägt. Breitere Magnetbänder wurden u. U. mit zwei derartigen Spurgruppen wechselweise beschrieben. Neuerdings werden in steigendem Maße 9 Spuren eingeschrieben, wodurch zwei numerische Zeichen (ein „Byte") in eine Sprosse passen und doppelte Arbeitsgeschwindigkeit erreicht wird.

Ausnahmsweise wurde (von ICT beim System 1300) eine analoge Aufzeichnung eingeführt, bei der die Ziffern durch die Länge der Magnetisierung in einer einzigen Spur des 1/4 Zoll breiten Magnetbandes wiedergegeben werden; im Mittel werden 440 Ziffern/Zoll aufgezeichnet und eine Übertragungsgeschwindigkeit von etwa 16 500 Ziffern/s erreicht.

Ähnlich wie es Magnetplattenspeicher mit auswechselbaren Platten gibt, wurden auch Magnetbandspeicher mit in Kassetten gefaßten und mit diesen auswechselbaren Bändern bzw. Bandschleifen gebaut (Potter u. a.); die flexiblen Bänder sind gegen rauhe Handhabung beim Wegstellen der Kassetten unempfindlicher.

Eine Mittelstellung zwischen Magnetband- und Trommelspeicher nimmt die „*Tape-Drum*" (Abb. 91/8.3.5.1) ein, deren Entwicklung jedoch nicht zur Betriebsreife geführt wurde. Ein 14 Zoll breites Magnetband „schwimmt" auf einer Luftschicht über einer schnell umlaufenden Trommel (20 U/s, 30 cm ∅), die mit einer achsparallelen Zeile von 128 Magnetköpfen versehen ist; diese können den Halbbogen des Bandes beschreiben oder ablesen. Zum Wechseln dieser „Seiten" mit je 250 000 Bits des Speicherbandes oder zum Suchen von Informationen wird das Band selbst weitertransportiert, das in losen Schleifen in einer Kassette liegt. Vermutlich wegen der Störungen beim Abgriff der Lesespannungen durch die Schleifringe wurde dieses Projekt nicht serienreif.

Literatur: Begun, S. J.: A New Magnetic Memory Device for Buseness Machines. Americ Inst. Electr. Engrs., Winter General Meeting New York 1955, Committee on Computing Devices, Paper No. CP 55–243. 6 Seiten.



Abb. 88/8.3.5.1
Band-Speicher ohne Bandaufwicklung zur Verminderung der zu beschleunigenden und zu bremsenden Masse (SEAC von National Bureau of Standards)

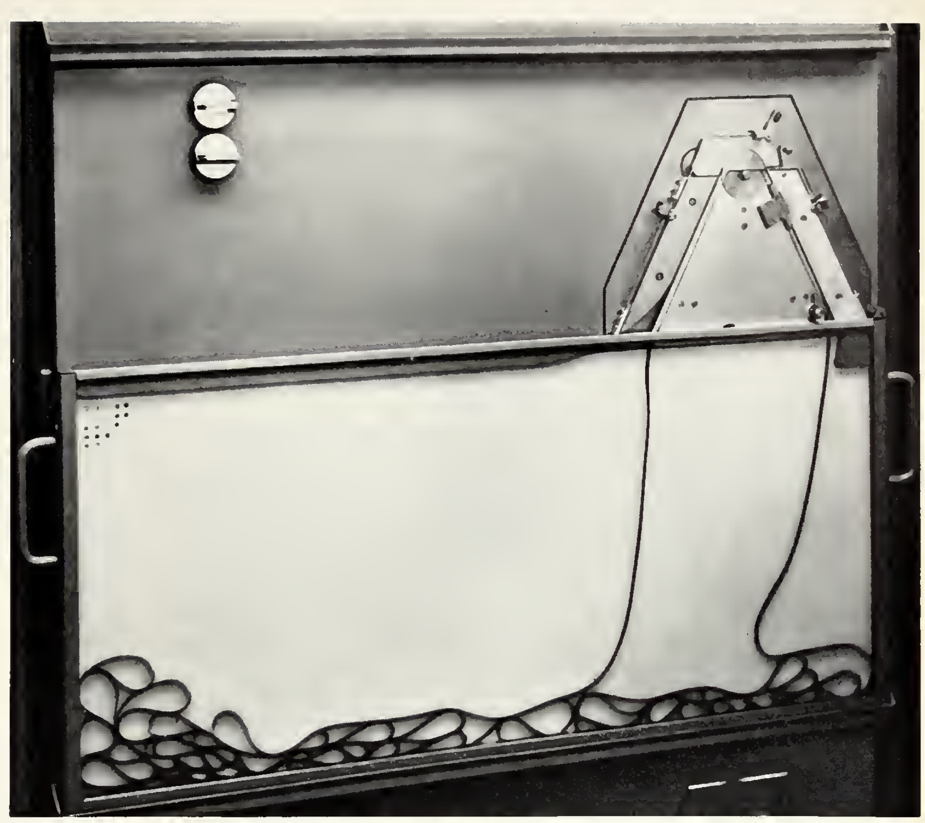


Abb. 89/8.3.5.1
Magnetband-Speicher mit endloser Bandschleife (Bell Telephones Manufacturing Co.)
Der Speicher wurde auch in Mehrfach-Ausführung gebaut, wobei mehrere dieser oder ähnlich ausgeführter Kassetten mit Magnetbandschleife nebeneinander in den gemeinsamen Antriebs-Mechanismus eingeschoben werden konnten.

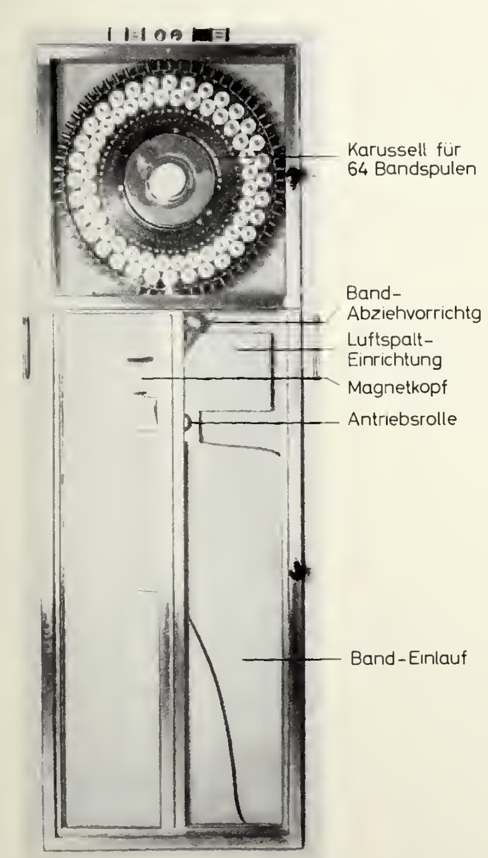


Abb. 90/8.3.5.1
Karusselspeicher mit auswechselbarer Trommel, die mit 64 Einzelspulen bestückt ist (Facit).

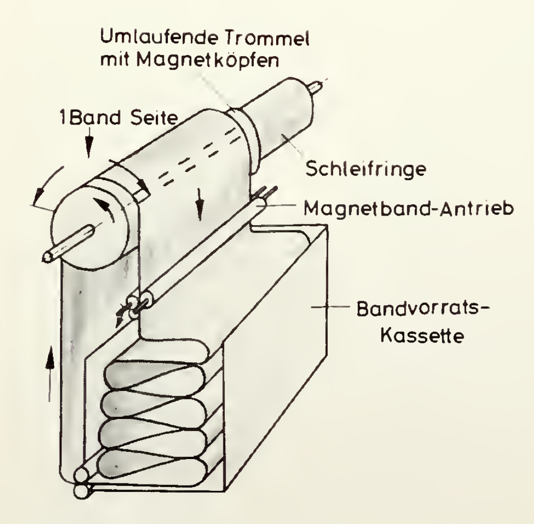


Abb. 91/8.3.5.1
Bauprinzip der „Tape-Drum" von Brush für 60 Mio Bits

8.3.5.2 Magnettrommel-Speicher

Geschichtlicher Überblick

1933 G. Tauschek (Wien) meldet am 1. 7. 1933 ein Patent an über einen zylindrischen elektromagnetischen Speicher für Zahlen und andere Angaben der Buchführung: DRP 643 803, Priorität USA 4. 8. 1932 (Abb. 92—93/8.3.5.2).

1944 G. Dirks Patentanmeldung „Rechenvorrichtung mit einem magnetisierbaren Speicher" (DBP 976 669 42 m 14).

C. B. Sheppard „Memory Devices", Theory and Techniques for Design of Electrical Digital Computers. Moore School of Electr. Engng. (Aug. 1946) Vol. 2.

Harvard Computation Laboratories B. L. Moore: „Magnetic and Phosphorcoated Discs." Proc. Symposium Large-Scale Dig. Calc. Mach. 1947. Annals Comput. Lab. Harvard University Vol. 16, S. 130.
Moore schlägt folgende Trommel vor: 3000 U/min, 30 cm ⌀, 10 Speicherplätze (20 Bits) pro Spur = 4,7 mm/Bit.

Brush Develop. Comp. O. Kornei: „Survey of Magnetic Recording." Proc. Symposium Large-Scale Dig. Calc. Mach. 1947. Annals Comput. Lab. Harvard University Vol. 16, S. 223—237.

1947 H. Billing (Göttingen) entwickelt Magnettrommel für eine numerische Rechenmaschine. „Numerische Rechenmaschine mit Magnetophonspeicher." ZaMM 29 (1949) H. 1/2, S. 38—42.

ERA (Engineering Research Associates) A. A. Cohen, W. R. Keye: „Selective Alteration of Digital Data in a Magnetic Drum Computer Memory." Report by Engng. Res. Ass. Inc., St. Paul, Minn., to Office of Naval Research, Dez. 1947.

Institute for Advanced Studies, Princeton J. H. Bigelow, P. Panagos: „First Progress Report on a Multi-Channel Drum Inner Memory for Use in Electronic Digital Computing Instruments." Electronic Computer Project, IAS Princeton 1948.

1948 G. Dirks (Frankfurt/Main) Patentanmeldung unter anderem über Speichermaschine: Auslegeschrift 1 021 188, Anspruch 49, DBP 1 112 316 42 m 14 vom 3. 8. 1961 (15. 3. 1950): „Magnetspeicher zur Steuerung von Rechen-, Schreib-, Sortier-, . . . Einrichtungen".

1949 A. D. Booth (London) Bau einer Magnettrommel für den Relais-Rechenautomat ARC.

Literatur: Booth, A. D.: A Magnetic Digital Storage System. Electronic Engng. 21 (Juli 1949), S. 234–238.

DEUTSCHES REICH



17. APRIL 1937

REICHSPATENTAMT

PATENTSCHRIFT

№ 643 803

KLASSE 43a GRUPPE 12

T 42748 IX/43a

Tag der Bekanntmachung über die Erteilung des Patents: 25. März 1937

Gustav Tauschek in New York, V. St. A.

Elektromagnetischer Speicher für Zahlen und andere Angaben, besonders für Buchführungseinrichtungen

Patentiert im Deutschen Reiche vom 1. Juli 1933 ab

Die Priorität der Anmeldung in den Vereinigten Staaten von Amerika vom 4. August 1932 ist in Anspruch genommen

Gegenstand der Erfindung ist eine Speichereinrichtung, insbesondere für Zahlenangaben, wie Kontensalden u. dgl., die es ermöglicht, eine größere Zahl von Salden auf einem möglichst kleinen Raum aufgespeichert zu halten und im Bedarfsfalle jede einzelne gespeicherte Zahl rasch und nach Belieben ablesen zu können.

Die Erfindung besteht darin, daß zur Beeinflussung mehrerer Speicherelemente, von denen jedes eine Zahl oder Angabe darzustellen vermag, ein Organ, z. B. Elektromagnet o. dgl., vorgesehen ist, welcher durch eine Wahlvorrichtung o. dgl. auf ein bestimmtes Speicherelement eingestellt und nach erfolgter Einstellung relativ zu dem Speicherelement bewegt werden kann, wobei in bestimmten Abschnitten der Relativbewegung das Speicherelement durch den Magneten entsprechend der zu speichernden Zahl oder Angabe beeinflußt wird.

Im nachstehend beschriebenen Aus- rungsbeispiel werden die Spei- durch Stromimpulsreihen scher Induktion letzterer Speicherelementen, bewir

nachst durch eine Vorrichtung sieben aufeinanderfolgende Stromstöße hervorgerufen. Diese Stromstöße erregen einen Elektromagneten siebenmal hintereinander. Bewegt sich im Bereiche des Magneten eine Stahlfläche, so induzieren die nacheinander entstehenden Felder magnetische Abschnitte oder Punkte auf der Stahlfläche. Diese magnetischen Abschnitte der Stahlfläche stellen die gespeicherte Zahl dar, und zwar ist die Anzahl der Abschnitte gleich dem Zahlenwert. Soll die gespeicherte Zahl von der Stahlfläche abgetastet und in einer für die menschlichen Sinne wahrnehmbaren Weise angezeigt werden, dann wird der Vorgang durchgeführt. an einem Elektromag- die magneti- Magnetspulen (84) angeord welche zur Speicherung oder Entnahme der Zahlen oder Angaben dienen.

3. Speicher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für jede Zahlenstelle ein besonderes Organ (Magnet 84) vorgesehen ist, welches den Speicher (78) an bestimmter Stelle induktiv magnetisch beeinflußt.

4. Speicher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Speicher durch einen Zylinder (29) gebildet wird, dessen Mantelfläche in Richtung der Erzeugenden und quer dazu in Abschnitte bzw. Unterabschnitte geteilt ist, die für die Speicherung der verschiedenen Zahlen bzw. Zahlenstellen dienen.

5. Speicher nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß im Zylinder (29) verschieb- und drehbar der Träger (Achse

6. Speicher nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnetspulen (84) sternförmig angeordnet sind.

7. Speicher nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Erzeugung der zahlencharakteristischen Stromimpulse (113) für die induktive Beeinflussung des Speichers (78) Teile eines Anzeige- oder Zählwerkes bilden.

8. Speicher nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel (113) zur Erzeugung der zahlencharakteristischen Stromimpulse für die induktive Beeinflussung des Speichers wirksam werden, wenn das Anzeigewerk in die Ausgangslage zurückgestellt (gelöscht) wird.

9. Speicher nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzeigevorrichtung sowohl durch die auf induktivem Wege vom Speicher (78) abgenommenen Impulse als auch hiervon unabhängig eingestellt werden kann.

Abb. 92/8.3.5.2
Patent von Tauschek (1933)
Siehe auch: Nagler, J. W.: In Memoriam Gustav Tauschek. Blätter für Technikgeschichte, H. 28, Springer Wien, 1966.

Der Magnettrommelspeicher wurde entwickelt und hat sich in breitem Einsatz bewährt als Datenspeicher relativ großer Kapazität und mit trotzdem schnellem Zugriff zu jeder gewünschten Speicherstelle. Hauptvorteil der Magnettrommel gegenüber den anderen zu Beginn der Rechner-Entwicklung verwendeten Speicherarten ist, daß die gespeicherten Informationen als magnetische Elemente in der Schicht beliebig lange erhalten bleiben, auch wenn der Betriebsstrom ausfällt, daß also kein Informationsverlust auftritt.

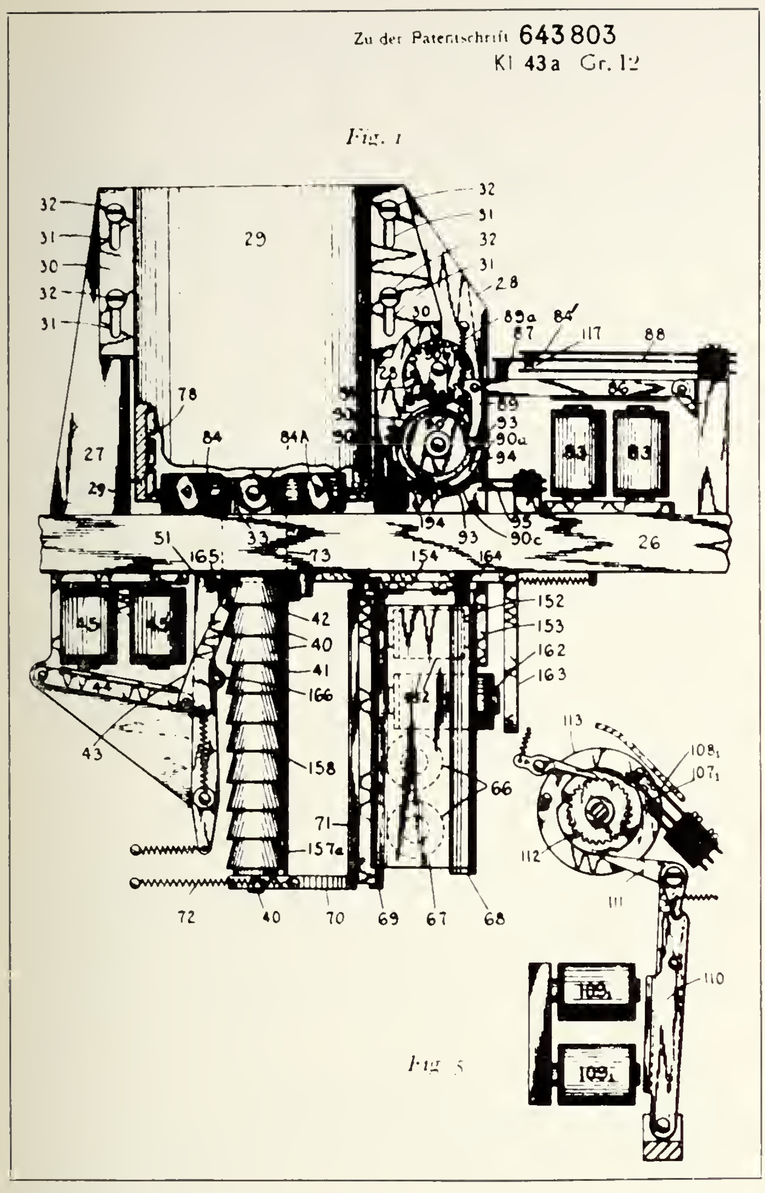


Abb. 93/8.3.5.2
Aus der Patentschrift von Tauscheck: Magnetspeicher in Trommelform, heb- und drehbar; darin Schreib strom-Spulen, die den Zylindermantel mit diskreten Impulsen magnetisieren, außen Lesespulen, die die Magnetisierung abtasten.



Abb. 94/8.3.5.2
Bestandteile einer modernen Trommel (Ferranti)

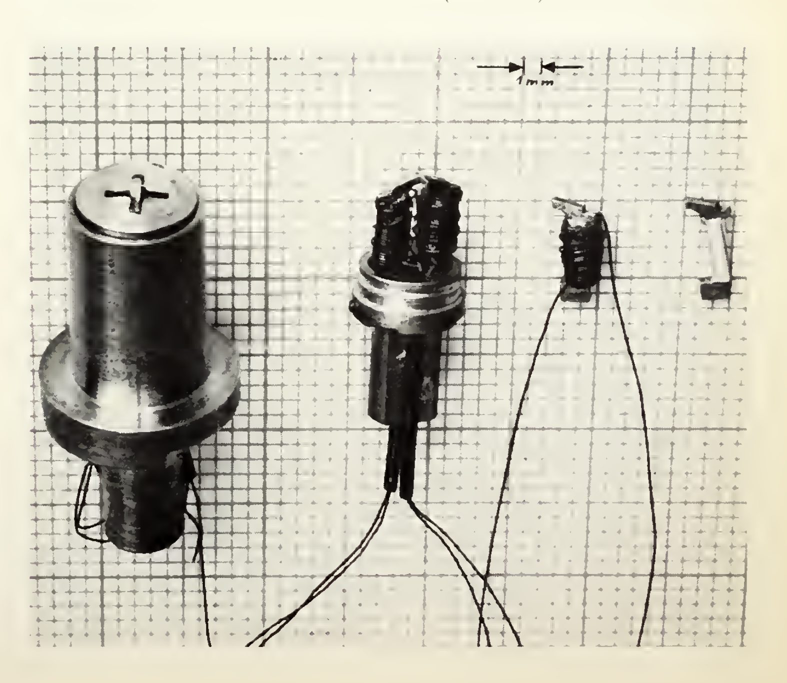


Abb. 95/8.3.5.2
Bestandteile eines Magnetkopfes zum Trommelspeicher des Rechners ER 56 (SEL)

Ausführungsformen:

Kleine Trommelspeicher mit hoher Umlaufzahl und damit kleiner Zugriffszeit wurden und werden noch als Rechenspeicher verwendet.

Die mittlere Größe mit etwa 256 Spuren und 10 ms mittlerer Zugriffszeit wurde sozusagen als Standardausführung in vielen Magnettrommelrechnern eingebaut. Oftmals haben einige Spuren mehrere Lese/Schreibköpfe, um einen Schnellzugriffsspeicher zu bilden.

Großtrommeln müssen zwangsläufig langsamer rotieren und haben daher längere Zugriffszeiten. Oft sind Magnetköpfe außerdem längs der Mantellinie verschieblich (Abb. 103—105/8.3.5.2) und diese Einstellzeit verlängert die Gesamtzugriffszeit u. U. erheblich.

Sonderbauarten:

Das Lab. for Electronics entwickelte um 1957 die „HD *File Drum*" und die Fa. Hollerith-British Tabulating Co., Ltd. (jetzt mit Powers-Samas zur ICT vereinigt) baute 1957—58 im HEC 1400 eine Großraum-Magnettrommel; bei beiden schwammen die Köpfe auf einer Ölschicht der Ferritoberfläche. So wurde engster Abtastspalt von 5 μm und hohe Zeichendichte von 40 Bits/mm erreicht; die Trommel von etwa 38 cm Durchmesser und 35 cm Höhe erreichte damit eine Speicherkapazität von 15 Mio Bits und bei 180 U/min eine mittlere Zugriffszeit von 200 ms einschließlich Spur-Auswahl, die durch eine Tannenbaum-Schaltung von Relais erfolgte.

Literatur: Begun, S. J.: Magnetic Recording. Murray Hill Books Inc. New York 1949.
Fuller, H. W., Woodsum, S. P. und Evans, R. R.: The Design and Systems Aspects of the HD File Drum. Proc. Western Joint Comp. Conf. Los Angeles 1958, S. 197.
Knight, L. und Circuit, M. P.: A High-density File Drum as a Computer Store. Journ. Brit. IRE (Jan. 1960), S. 41–45.

Erste Ausführungen von Magnettrommelspeichern

Engineering Research Associates (ERA), Inc., St. Paul, Minn.
Erste Versuche: 1946
Trommel des Rechners ERA 1101 (1101 bedeutet Modell 13)
Durchmesser: 21,5 cm
Länge: 35,5 cm
3500 U/min
16 384 Speicherplätze (24 Bits)
Signaldichte: 1280 Bits/inch^2
Nach den ERA-Patenten wurde auch die Magnettrommel des IBM 650 gebaut; nachdem ERA mit UNIVAC verschmolzen war, hat IBM keine Speichertrommel mehr verwendet.

Literatur: Hill, J. L.: Design Features of a Magnetic Drum Information System. Vortrag, gehalten auf der ACM-Konferenz, März 1950, Rutgers University. Sonderdruck von ERA Inc.

Harvard Computation Laboratories, Cambridge, Mass.
Erste Versuche: 1947
Trommel des Rechners Mark III (Abb. 97/8.3.5.2)
Literatur: Aiken, H. H.: Description of a Magnetic Drum Calculator Mark III. Annals Comput. Lab. Harvard University Vol. 25 (1952).

Speiser, A.: Elektronische Rechenautomaten. Schweiz. Bauzeitung 68 (1950) 33, S. 441–444 und 34, S. 464–467.

Birkbeck College, University of London
Trommel des Rechners ARC (siehe 5.6.1)
Durchmesser: 5 cm
Länge: 30 cm
3000 U/min
Schicht: Nickel, elektrolytisch aufgebracht
Schichtdicke: 0,013 mm
256 Speicherplätze (21 Bits)

Literatur: Booth, A. D.: A Magnetic Digital Storage System. Electronic Engng. 21 (Juli 1949) S. 234–238.

Institut für Instrumentenkunde, Göttingen
Erste Versuche: 1947
Durchmesser: 15 cm
Länge: 16 cm
6000 U/min
Trommelmaterial: Aluminium
Schicht: Eisenoxyd
Kopfabstand: 0,2 mm
192 Speicherplätze (20 Bits)

Literatur: Billing, H.: Numerische Rechenmaschine mit Magnetophonspeicher. ZaMM 29 (1949) No. 1/2, S. 38–42.

University of Manchester
Trommel des Manchester-Rechners, später Ferranti
(Abb. 96/8.3.5.2)
Durchmesser: 29 cm
Länge: 5 cm
2080 U/min
Die ganze Anlage besteht aus 2 Trommeln;
pro Trommel: 2048 Speicherplätze (40 Bits)
in 32 Spuren = 3,56 mm/Bit
Schicht: Nickel
Schichtdicke: 0,025 mm
Kopfabstand: 0,025 mm

Literatur: Thomas, G. E.: Magnetic Storage. Report Conf. High-Speed Automatic Calculating Machines. University of Cambridge/England (Juni 1949).
Williams, F. C., Kilburn, T. und Thomas, G. E.: Universal High-Speed Digital Computers – A Magnetic Store. Proc. Instn. Electrical Engrs. Part. 2, 99 (April 1952), S. 94.

General Electric Comp., Syracuse N. Y.
Trommel des Office of Air Research Automatic Computer OARAC (s. Abb. 24—25/6.1)
Baubeginn: etwa 1949
Durchmesser: 61 cm
Länge: 76 cm
1800 U/min
4000 Speicherplätze (10 Dezimalstellen)
Aluminiumtrommel
Kopfabstand: 0,05 mm
Diese Trommel wurde später geändert in:
Durchmesser: 55 cm
Länge: 76 cm
3500 U/min
10 000 Speicherplätze

Max-Planck-Institut für Physik, Göttingen
Trommel der Rechenmaschine G 1 (vgl. 6.3)
Baubeginn: etwa 1949 (aufbauend auf Billings Versuchen seit 1947)
Durchmesser: 8,8 cm
Länge: 17 cm
3000 U/min
26 Speicherplätze (32 Bits)
Trommel aus Bondur
Schicht: Eisenoxyd, aufgespritzt
Schichtdicke: 0,003 mm
Kopfabstand: 0,05 mm

Office of Naval Research USA
Trommel des Rechners ONR Relay Computer
Bau: um 1950
Durchmesser: 30 cm
Länge: 21 cm
440 U/min
4094 Speicherplätze (24 Bits)
Trommel besteht aus einem Aluminiumrohr
Kopfabstand: 0,05 mm

University of California, Berkeley
Trommel des Rechners CALDIC (California Digital Computer)
Bau: 1950
Durchmesser: 21 cm
Länge: 66 cm
3600 U/min
10 000 Speicherplätze (10 Dezimalstellen)
Trommel besteht aus Aluminiumrohr, die Schicht ist aufgespritzt

University of California, Berkeley
Trommel des Rechners SWAC (Standards Western Automatic Computer)
Durchmesser: 21 cm
Länge: 76 cm
3600 U/min
4096 Speicherplätze (40 Bits) in 128 Spuren = 0,44 mm/Bit

Harvard University, Computation Laboratories, Cambridge Mass.
Trommel des Rechners Mark IV (Abb. 98/8.3.5.2)
Bau: 1950
Durchmesser: 56 cm
Länge: 81 cm
1800 U/min
4000 Speicherplätze (16 Dezimalstellen) für Zahlenspeicher
10 000 Speicherplätze (8 Dezimalstellen) für Befehlsspeicher
Kopfabstand: 0,05 mm

Institut für Praktische Mathematik, Technische Hochschule Darmstadt
Trommel des Rechners DERA
Bau: 1950—51
Durchmesser: 40 cm
Länge: 10 cm
3000 U/min
3000 Speicherplätze (7 Dezimalstellen)
auf 60 Spuren = 3,6 mm/Bit
Kopfabstand: 0,05 mm

Technische Hochschule München
Trommel des Rechners PERM
Baubeginn: etwa 1950
Durchmesser: 10 cm
Länge: 22 cm
15 000 U/min
8192 Speicherplätze (4 mal 50 parallel gelesene Spuren für je 2048 50-Bit-Wörter), insgesamt 217 Spuren = 0,15 mm/Bit = 6,5 Bit/mm
Trommel aus Elektron
Schichtdicke: 0,07 mm, aufgespritzt
Kopfabstand: 0,02 mm

Technische Universität Dresden
Trommel des Rechners D 1 (Abb. 104/8.3.5.2)
Bau: 1953
Durchmesser: 20 cm
Länge: 25 cm
6000 U/min
2048 Speicherplätze (72 Bits) auf 128 Spuren = 0,54 mm/Bit
Kopfabstand: 0,05 mm
Die 16 Köpfe sind auf einem Schlitten durch eine Serienanordnung von Magneten mit dual gestuftem Hub verschiebbar angeordnet.

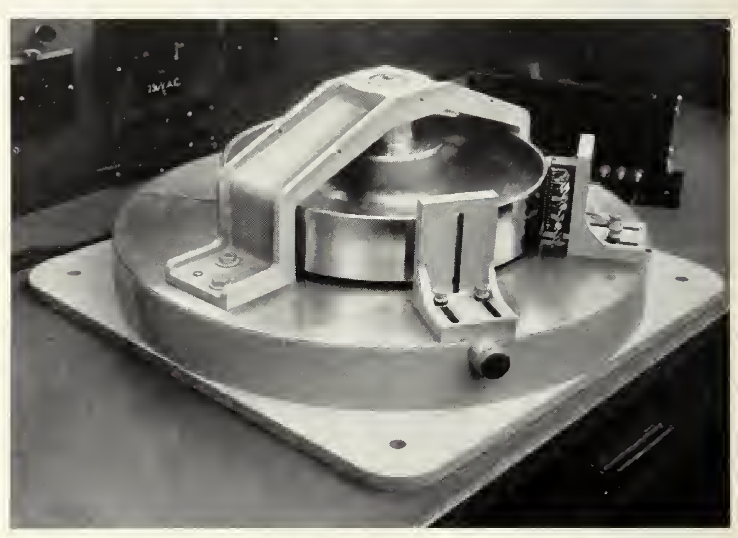


Abb. 96/8.3.5.2
Magnettrommel-Versuchsaufbau Mark I von Ferranti und Universität Manchester (siehe auch Abb. 2/6.2)

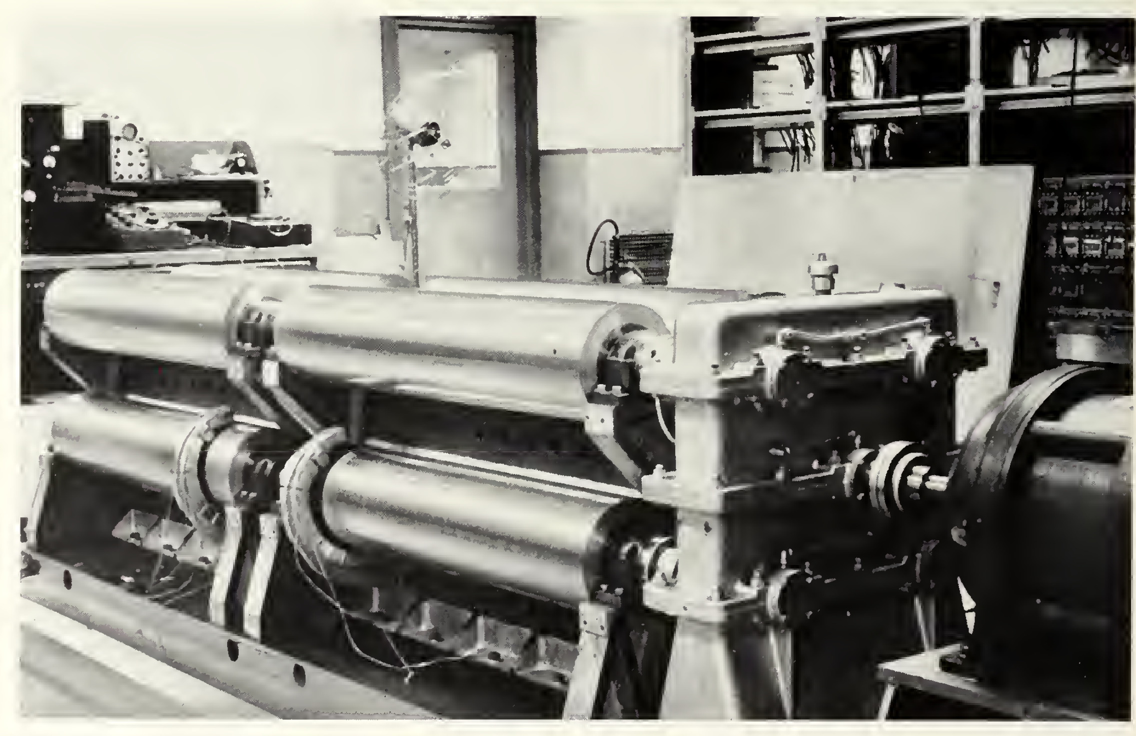


Abb. 97/8.3.5.2
Magnettrommelspeicher von Mark III (Aiken), 1950 fertig (siehe auch Abb. 10–12/6.1); 8 Trommeln (40 Zoll × 8,5 Zoll Φ) mit gemeinsamem Antriebsmotor (15 PS, 7200 U/min); Eisenoxydfarbe aufgespritzt.

Vorgesehen waren je Trommel 500 Magnetköpfe, auf gußeisernen Bügeln montiert, von denen unten zwei zu sehen sind.
Dieser Magnettrommelspeicher faßte 4000 Zahlen zu 16 (oder 32) Stellen und gesondert 4000 Programmbefehle. Zugriffszeit max. 8,3 ms, im Mittel 4,2 ms.

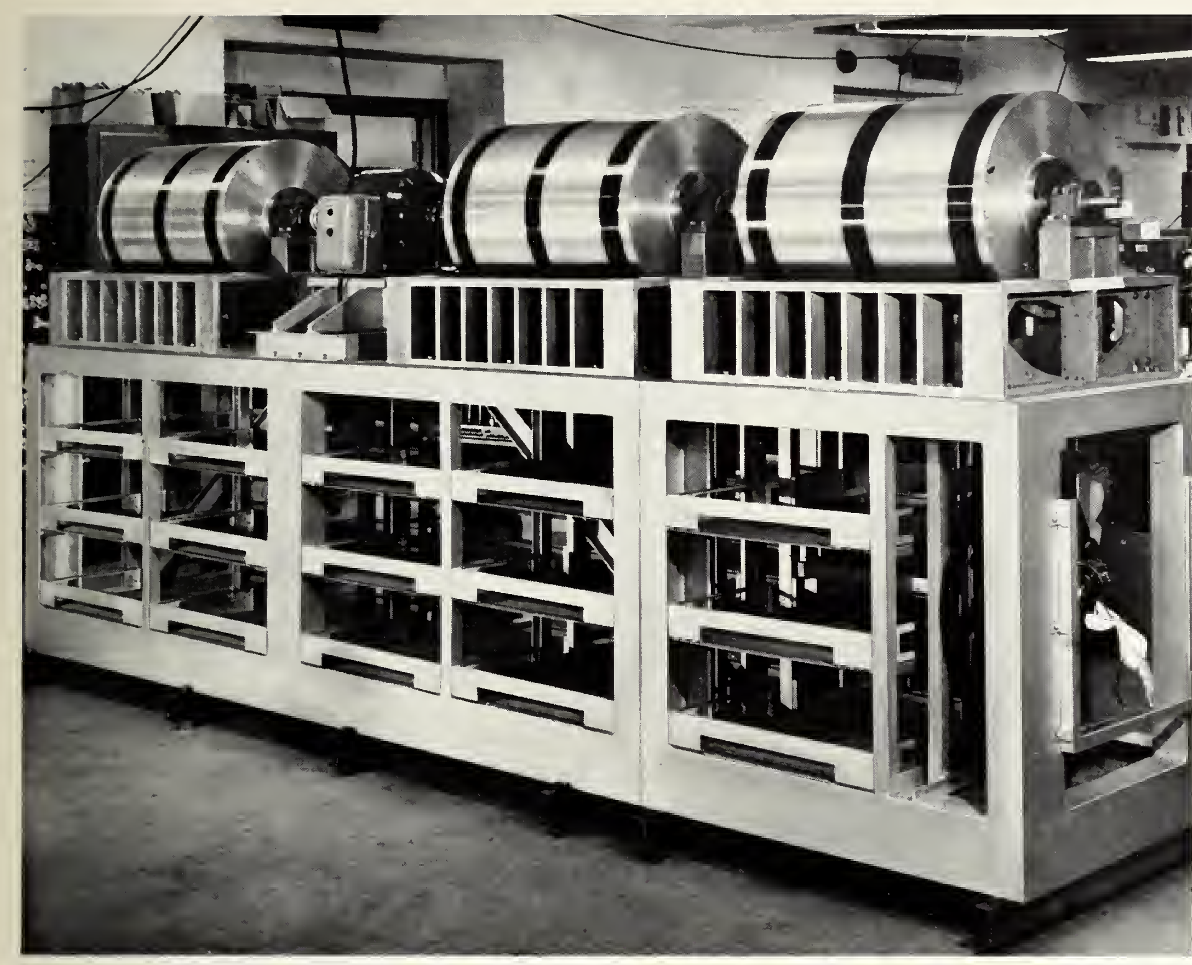


Abb. 98/8.3.5.2
Magnettrommeln des Mark IV (Aiken) (s. auch Abb. 23/6.1)

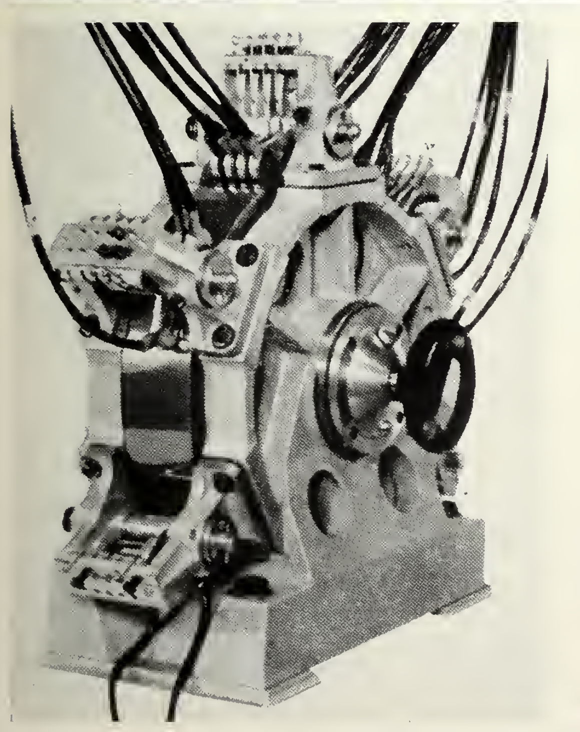


Abb. 99/8.3.5.2
Magnettrommelspeicher des Elliott 402 (vgl. 6.2) und 405 für 4096 Wörter zu 32 Bits bei Type 405 bzw. für 2944 Wörter bei Type 402.
Trommeldurchmesser 9 Zoll, Länge 2 Zoll, 4600 U/min; 23 Spuren für je 128 Wörter; zusätzlich 8 elektronisch angewählte Schnellzugriffsspuren mit 6,5 ms mittlerer Zugriffszeit.

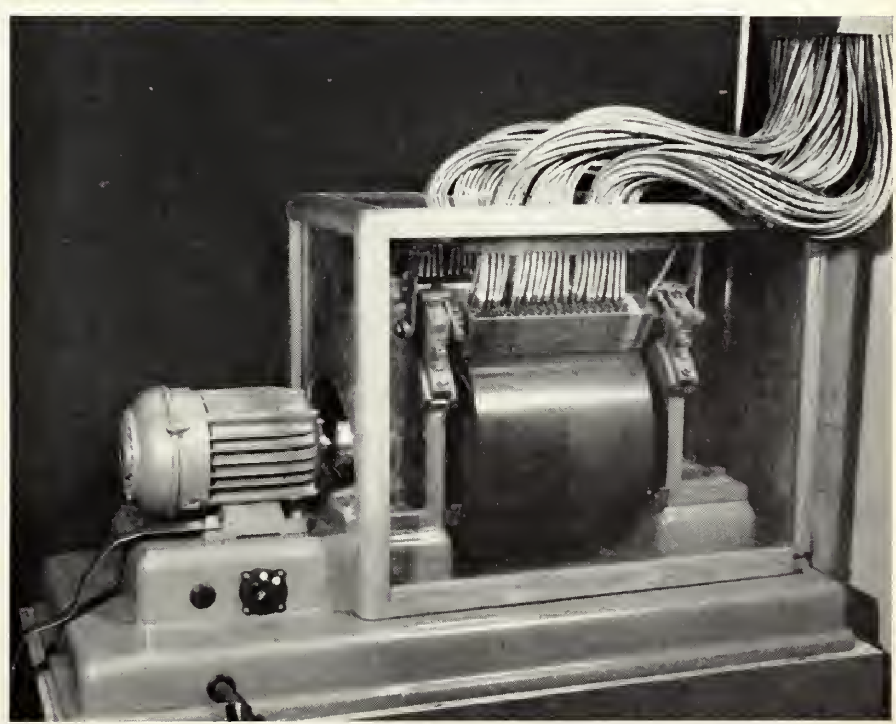


Abb. 100/8.3.5.2
Trommel einer russischen Anlage (BESM, s. Abb. 1–2/6.5). Speicherkapazität 5120 Zahlen. Siehe hierzu Abb. 1/6.4: die Trommel der ARRA-Neu.

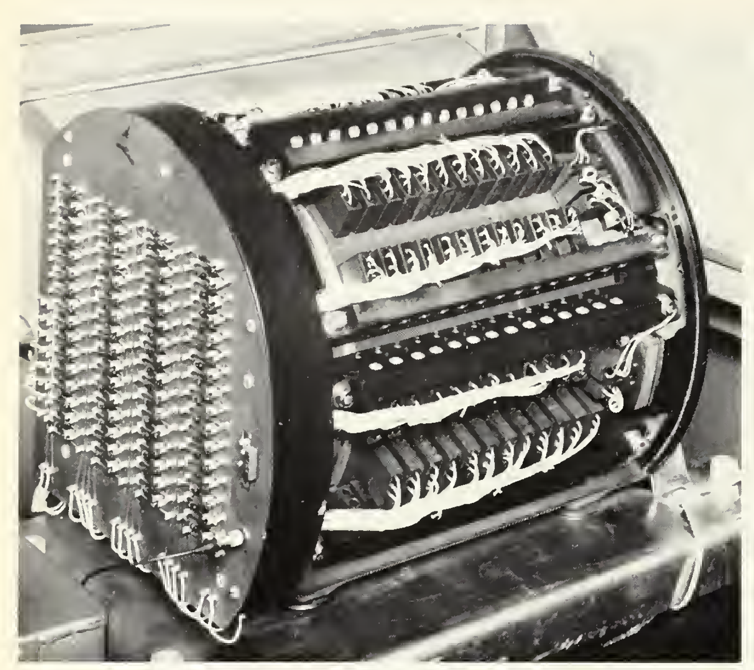


Abb. 101/8.3.5.2
Magnetspeichertrommel der LGP 30 (s. Abb. 9/7.3) mit seitlich angebauter Kopfauswahl-Matrix

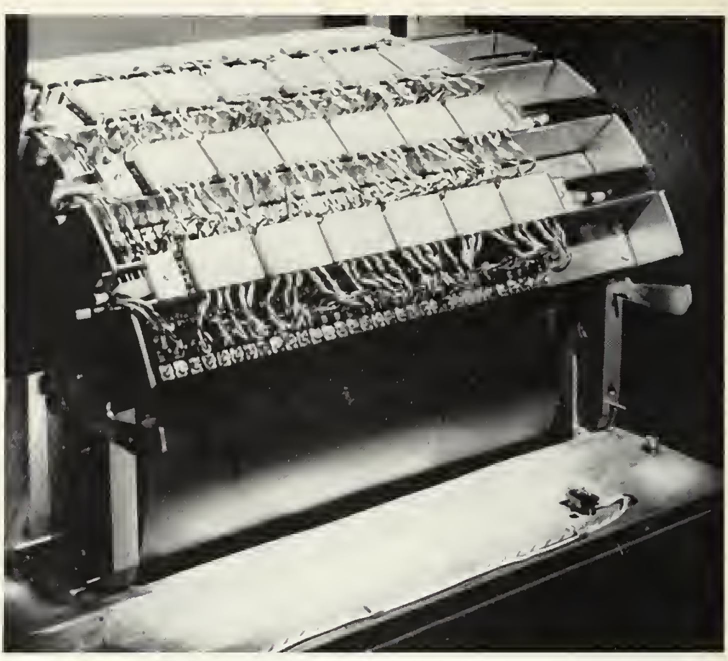


Abb. 102/8.3.5.2
Trommel der IBM 650 (s. Abb. 34/6.1 und 11/6.3)

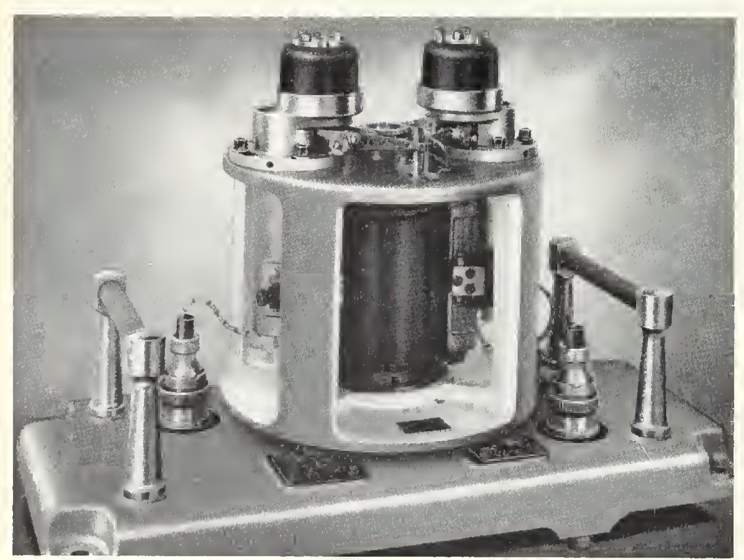


Abb. 103/8.3.5.2
Die Magnettrommel des Röhrenrechners DEUCE (s. Abb. 3/6.2) der English Electric Co., Nelson Research Laboratories.
Die Trommel faßt je 32 Wörter in 256 Spuren. 16 Schreib- und 16 Leseköpfe sind längs einer Mantellinie verschieblich: Zugriffszeit ist 10 ms ohne und 50 ms mit Kopfverschiebung.

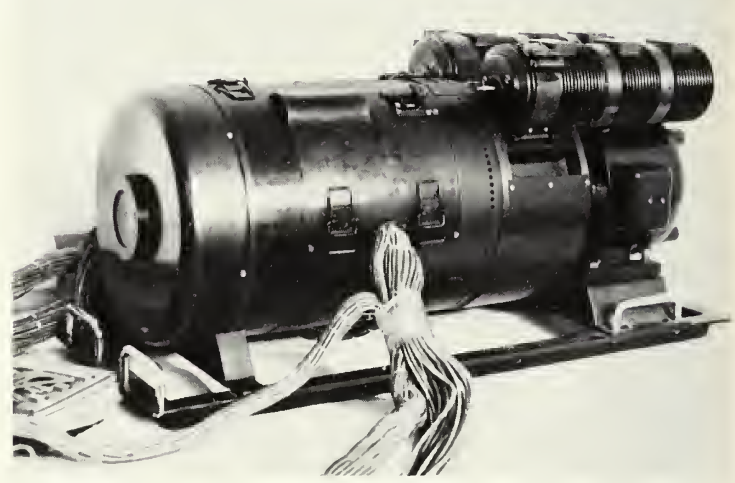


Abb. 104/8.3.5.2
Trommel der D 1 (Lehmann in Dresden 1953)
Die Köpfe sind auf einem Schlitten verschiebbar angeordnet, um Schreib- und Leseelektronik zu sparen. Die mechanische oder (wie hier) elektromagnetische Verstellung der Magnetkopfträger bewirkt natürlich einen gewissen Zeitverlust (D 1 s. Abb. 6/6.3).



Abb. 105/8.3.5.2
Doppelter Großraumspeicher „RANDEX" (1960) mit 2 waagrecht liegenden Trommeln (20 U/s) für zusammen 24 Millionen alphanumerische Zeichen; zwischen beiden Trommeln ein achsial verschieblicher Magnetkopf; mittlere Zugriffszeit 330 ms (Remington Rand).
Metropolitan-Vickers Electrical Co., Ltd. hatte zum Rechner 1010 bereits 1959 einen Großraum-Trommelspeicher für 60 000 Wörter zu 44 Bits gebaut; er hatte 1 m Durchmesser und rotierte mit 10 U/s.

Eine senkrechte Großtrommel 170 Mio bit Speicherkapazität bei 30 bis 105 ms Zugriffszeit und 4 getrennten Gruppen von verschieblichen Köpfen mit eigenen Adreßeinheiten (also unabhängig voneinander ansprechbar) enthält das Modell PhD-170 von Bryant Computer Products.

8.3.5.3 Speicher mit auswechselbaren flexiblen Magnetkarten

Magnavox, Los Angeles, baute um 1957 einen interessanten Speicher „Magnacard". Er verleiht dem Magnetband-Prinzip den Vorteil der leichten Sortierbarkeit und des Ordnens der Informationen, der sonst nur den Lochkarten vorbehalten war. Hier wurden kurze Magnetband-Abschnitte des Formates 1 x 3 Zoll benutzt, die pneumatisch mit großer Folgegeschwindigkeit aus Kassetten vereinzelt abgezogen, an bis zu vier umlaufende und sich berührende Saugtrommeln angesaugt und entsprechend den abgelesenen Sortiermerkmalen in drei andere Kassetten wieder eingeschoben werden konnten.

Was die „Tape-Drum" schon versucht hatte — nämlich einen schnellen Abgriff von einem langen Magnetband — das erreichte die ähnliche Konstruktion des Magnetkarten-Speichers 353-„CRAM" (Card Random Access Memory) von National Cash Register, die 1960 erstmals gezeigt und 1962 auf den Markt gebracht wurde (Abb. 106—108/8.3.5.3). Hier werden sozusagen Magnetband-Abschnitte der Größe 80 x 350 mm als auswechselbarer Belag um die rotierende Trommel gewickelt; 256 der flexiblen Folienkarten werden in einer Kassette abrufbar aufbewahrt, durch Saugluft an die Trommel angezogen und nach Lesen und Schreiben wieder zurück in das Magazin befördert. Jede Karte speicherte zuerst 32 550 numerische Zeichen; später wurde die Bitdichte und damit die

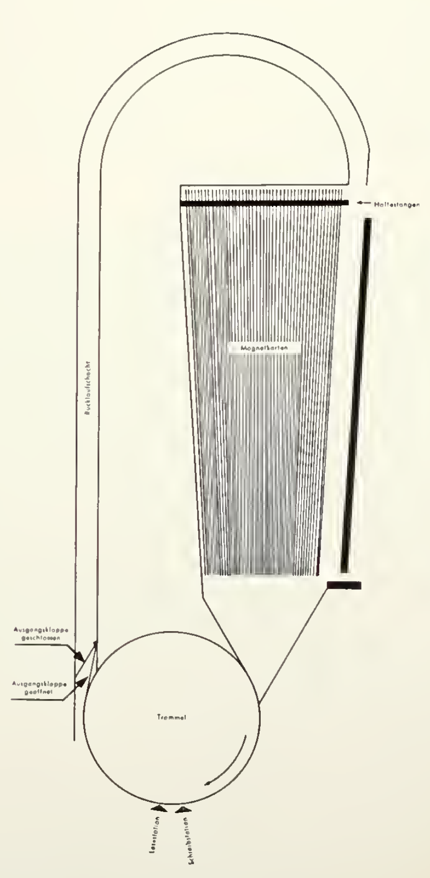


Abb. 106/8.3.5.3
NCR-CRAM-Magnetkartenspeicher National 353



Abb. 107 und 108/8.3.5.3
NCR-CRAM-Magnetkartenspeicher für ursprünglich 5,5 Mio alphanumerischer bzw. 8,3 Mio numerischer Zeichen, später 16 Mio numerische Zeichen je Magazin mit 256 Magnetkarten. Zugriffszeit max. 0,2 s. Die 256 Magnetkarten hängen an 2 Halteschienen und 8 Auswahlschienen; diese sind als Viertelkreisstäbe ausgebildet und drehbar. Nach Drehung der die Kartennummer definierenden Auswahl-Stäbe ist nur diese eine Magnetkarte frei. Sie fällt nach Drehung der beiden Halteschienen frei nach unten und wickelt sich um die rotierende Trommel, durch Saugluft darauf festgehalten.



Speicherkapazität verdoppelt. In ähnlicher Richtung ging bereits ab 1956 eine später nicht weitergeführte Entwicklung der Fa. SEL zu einer „automatischen Kartei", bei welcher wahlfrei aufzurufende Blätter vom Format DIN A 4 entweder voll mit Magnetspuren belegt oder als auswechselbare Kontokarten mit Klartext bedruckt werden konnten — dann war eine Magnetspur im Kartenkopf angeordnet. Die Auswahl der gewünschten von 1000 Karten einer Speichereinheit erfolgte über eine 2-aus-5-Codierung im Kartenkopf in Form von Nocken, die mit längsgerichteten Codeschienen zusammenwirkten und bei Ausheben zweier Schienen nur der einen angerufenen Karte eine kleine Verschiebung und Abfallen von den Auflage-Schienen erlaubten (siehe Abb. 38/7.2).

1964 wurden ähnliche Konstruktionen von IBM im System/360 als Typ 2321 mit 100 Spuren auf größeren Karten, und mit 20 um 5 Spuren verschiebbaren Magnetköpfen auf der rotierenden Trommel angekündigt; ebenso von RCA als Typ 3488 RACE (Abb. 109—110/8.3.5.3), wobei 64 Schreibspuren auf Karten von 40,5 x 11,4 cm Größe angeordnet sind. Kapazität je Karte 166400 Zeichen, je Magazin 256 Karten, also 42,6 Mio Zeichen. Dieser Speicher kann an die Rechner RCA 301 (= Bull Gamma 30 und ICT 1500) und RCA 3301 Realcom (= Bull Gamma 40 = ICT 1600) und an die Rechner-Familie RCA Spectra 70 (= Siemens 4004) angeschlossen werden. Die mittlere Zugriffszeit zu allen Karten der zu einer Lese/Schreibstation gehörenden 16 Magazine ist etwa 200 ms. Um 1964 entwickelte Monroe eine lochkartengroße Magnetfolie „Monroe-Card" mit 1500 oder 800 Bits Speicherkapazität, die genau wie Lochkarten gehandhabt und nur magnetisch abgelesen wird.

Zu erwähnen sind hier auch die mit einer oder mehreren Magnetspuren beschichteten Kontokarten, welche ursprünglich zum Einspeichern und Ablesen des „alten Saldo" der vorigen Buchungszeile dienten, schließlich aber immer mehr Informationen aufzunehmen vermochten, und auch zur Programmeingabe in die „Magnetkonten-Computer" (Anker, IBM, NCR, Ruf, Siemag u. a.) dienen. Um 1958 entwickelte Magnavox einen Speicher aus 25 × 75 mm großen Magnetband-Abschnitten, die pneumatisch sortiert und gemischt werden konnten und in 17 Spuren 1000 Ziffern bzw. 600 Buchstaben speicherten (Magnacard-System, US-Pat. 2 997 174 Ser.-No. 737 439 Cl 209—72 vom 23. 5. 1958).

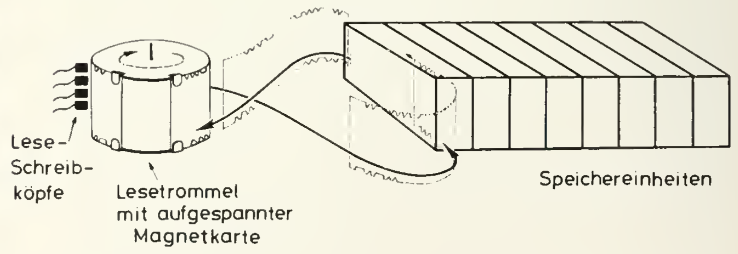


Abb. 109/8.3.5.3
Magnetkartenspeicher RCA 3488 „RACE"
Schematische Darstellung einer Magazingruppe mit Kartenbahn und Lese/Schreibstation in Form einer umlaufenden Trommel

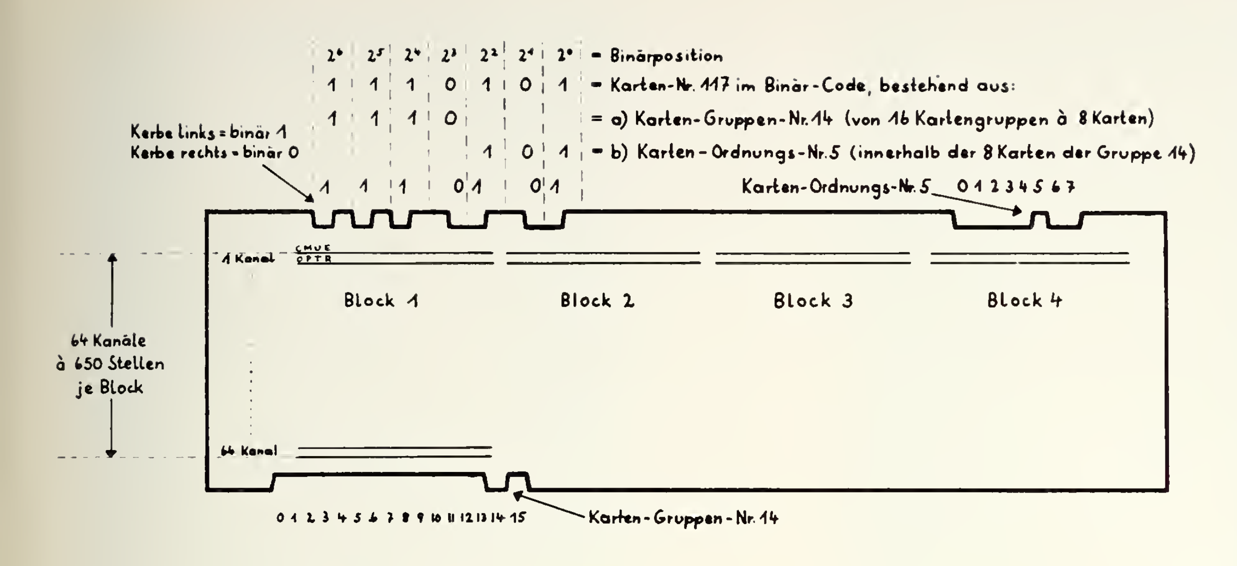


Abb. 110/8.3.5.3
Magnetkarte des RCA-Magnetkartenspeichers 3488 Kartenlänge 405 mm, Kartenbreite 114 mm; Kapazität 4 Blöcke zu je 64 Spuren zu je 650 Stellen, zusammen 166 400 Stellen. Die Kerbung in den Längsseiten dient zur Codierung der Kartennummer (links oben) mit bis zu 6 Binärstellen, der Karten-Ordnungsnummer (rechts oben) bis zur Dezimalzahl 7 und der Karten-Gruppennummer (rechts oben) bis zur Dezi*malzahl 15. Letztere beiden Nummern dienen zur Steuerung des Auswahl-Mechanismus.*

8.3.5.4 *Magnetplatten-Speicher*

Magnet-Platten- oder Scheibenspeicher werden mit um eine waagrechte oder senkrechte Achse rotierenden Speicherflächen gebaut, mit einer Scheibe oder bis zu 50, mit verschieblichen Einzel-Magnetköpfen oder mit vielen auf einem Kamm — oder gar mit je einem für jede Spur, was natürlich schnellsten Zugriff erlaubt (so bei Burroughs mit 10 ms mittlerer Zugriffszeit).

Einen der ersten Scheibenspeicher enthielt der Rechner Elliott 403: eine große, um eine waagrechte Achse rotierende Scheibe mit beiderseits 32 Spuren, für insgesamt 16 384 Wörter Kapazität bei 32 ms mittlerer Wartezeit (Abb. 111/8.3.5.4). Neben Plattenspeichern sehr großer Kapazität finden selbst bei kleineren Rechnern auswechselbare Kassetten mit 1 bis 6 Platten zunehmende Verwendung.

Literatur: — : Random Access Devices for medium to large computers. Control Engng. April 1962. S. 131–137.

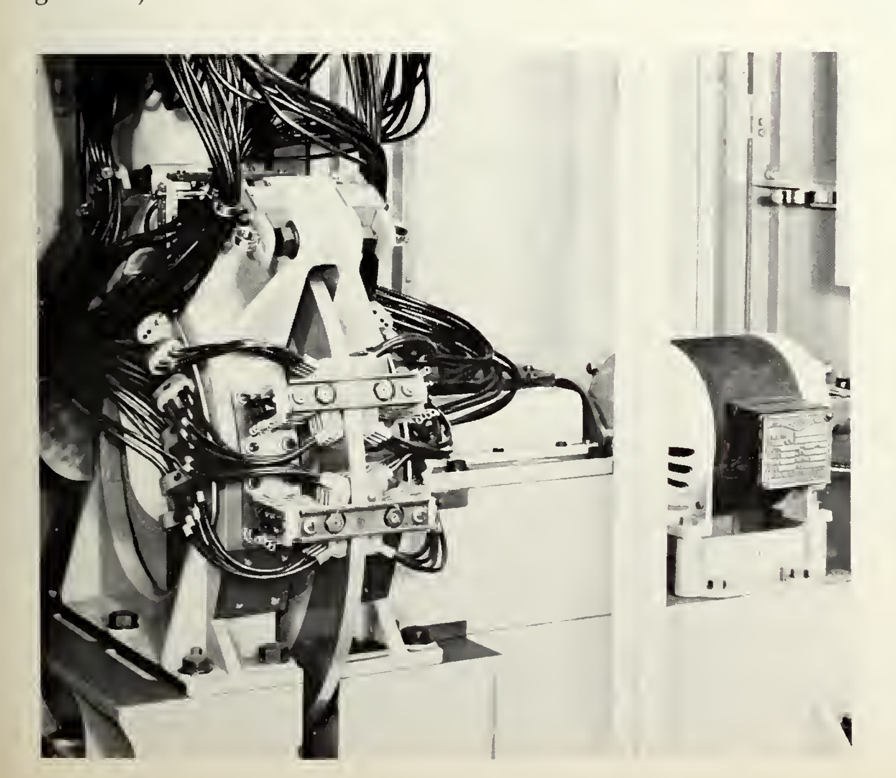


Abb. 111/8.3.5.4
Magnetscheibenspeicher der Rechenanlagen Elliott 403 und 405 für 16 384 Wörter zu 32 Bits; Scheibendurchmesser 19 Zoll, Scheibendicke 0,5 Zoll.

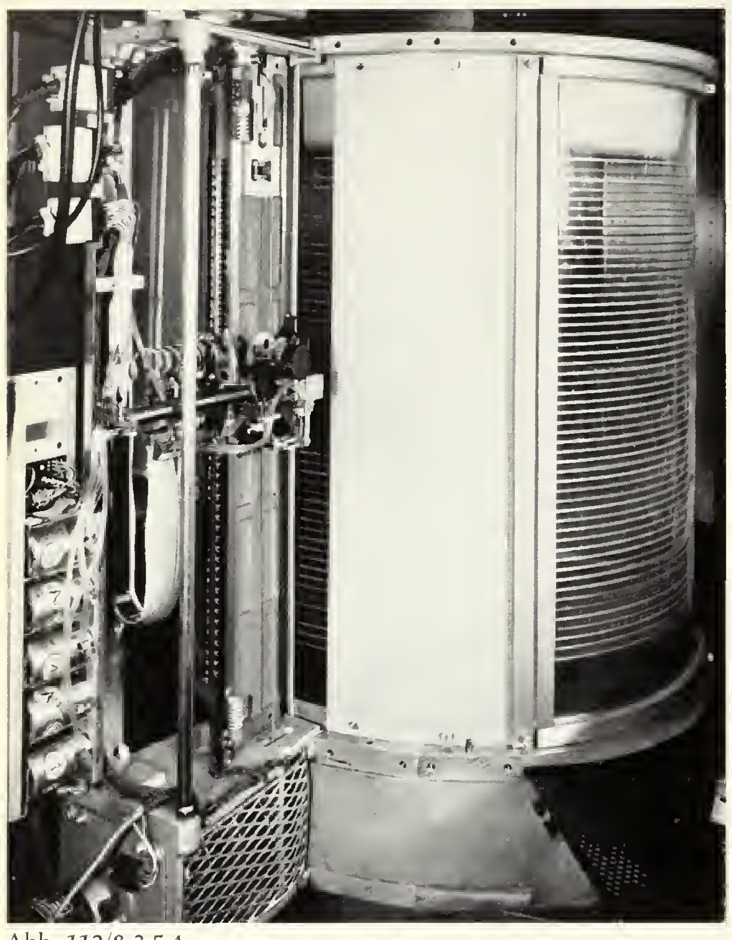


Abb. 112/8.3.5.4
Magnetplattenspeicher der IBM 305 RAMAC (s. Abb. 37/6.1) mit achsial und radial einstellbarem Magnetkopf-Trägerarm. Neuere Typen besitzen einen nur radial einstellbaren Trägerkamm mit einem Magnetkopf für jede Plattenseite.

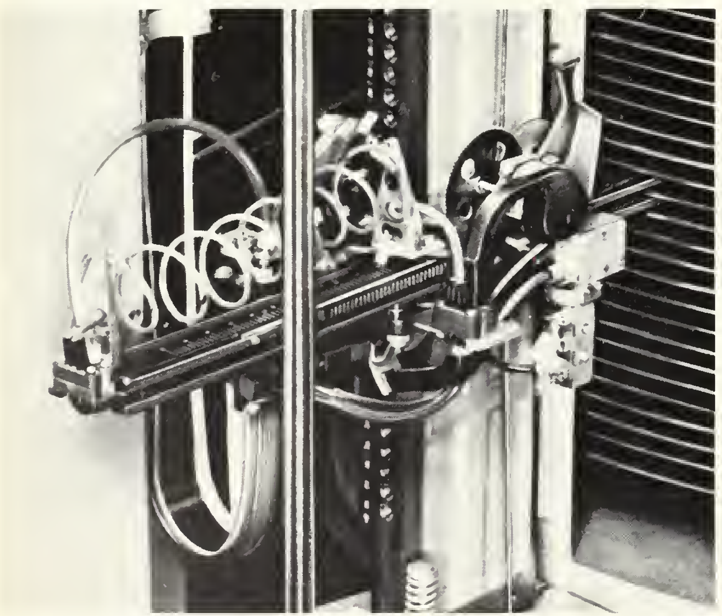


Abb. 113/8.3.5.4
Abfühl-Mechanismus eines Plattenspeichers (IBM 350)
Die Magnetköpfe werden durch ein Druckluft-Kissen in konstantem Abstand von der unvermeidbar etwas taumelnden Speicherplatte gehalten. Die Trägergabel umfaßt eine Platte und trägt zwei Köpfe für das Lesen der Magnetspuren auf Ober- und Unterseite der Platte.

Abb. 114/8.3.5.4
Auswechselbare Kassette für Magnetscheibenspeicher Flexodisc (Electrologica)



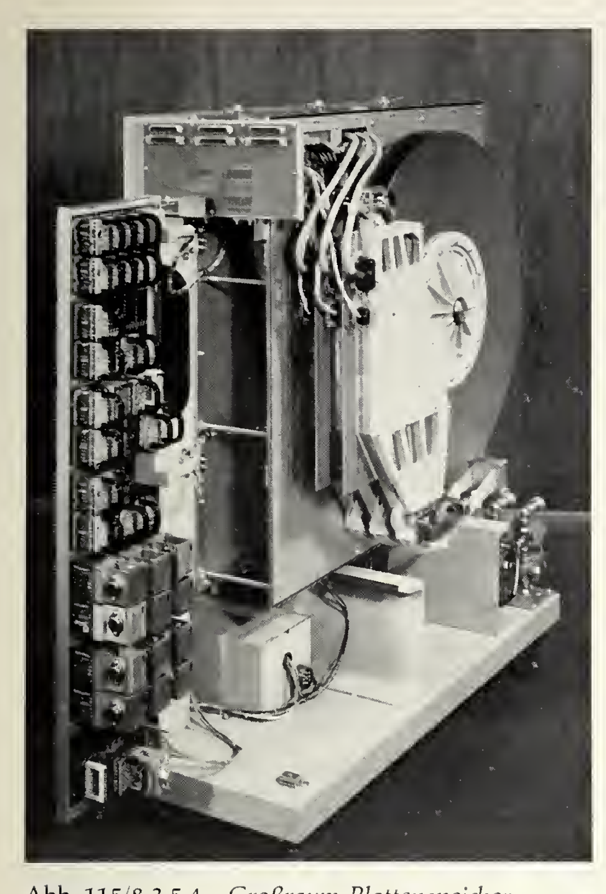


Abb. 115/8.3.5.4 *Großraum-Plattenspeicher*
Burroughs
4 Platten zu je 2,4 Mio Zeichen, mittlere Zugriffszeit 20 ms, da für jede Informationsspur ein eigener Lese/Schreibkopf eingebaut ist.

Bryant 4000–2
1. 26 Platten 2. Schwenkbare Kopfträger mit 300 Köpfen 3. Eingebaute Vorverstärker 4. Steuerelektronik, Kapazität 1,6 Milliarden Bits, max. Zugriff 205 ms

8.3.5.5 *Magnetscheiben-Speicher mit flexibler Scheibe*

Die Speicherkapazität von magnetomotorischen Speichern aller Art wächst mit der Bitdichte, und diese mit verringertem Luftspalt zwischen Kopf und Schicht. Bei Magnettrommeln ist die Ausdehnung der Trommel durch Fliehkraft und Erwärmung die Grenze, wegen der die Köpfe nicht in beliebig geringem Abstand einjustiert werden dürfen. Neben den Versuchen, die Köpfe beweglich zu lagern und hydrodynamisch auf einer Luft- oder Ölschicht schwimmen zu lassen, wurde auch der umgekehrte Weg erprobt, die Magnetschicht flexibel zu halten und sich über den fest eingebauten Köpfen auf einem sich nach strömungsdynamischen Gesetzen aufbauenden Luftkissen in einem minimalen Abstand zu halten.

Eine flexible Magnet-Speicherscheibe aus eisenoxyd-beschichtetem Papier war ursprünglich schon beim ARC von Booth verwendet worden. 1957 begann das Lab. for Electronics, Boston, diese Versuche mit einer 0,05 mm starken Mylarfolienscheibe, die etwa 125 mm Durchmesser hatte und mit 6000 U/min rotierte: es stellte sich 0,05 mm Abstand ein. Schließlich wurde nach diesem Prinzip ein Speicher für Einbau in einen Satelliten gebaut, der bei insgesamt 5 kg Gewicht in 38 Spuren je 1024 Bits speichern konnte; ferner die Speichereinheit BD-103 für 100 000 Bits, die mit Drehzahlen von 1800 bis 9000 U/min zu betreiben und nur 9 x 9 x 5 Zoll groß ist.

Besonderer Vorteil dieser Bauweise ist die Unempfindlichkeit gegen Erschütterungen und ähnliche im Betrieb unter rauhen Umwelteinflüssen oft nicht auszuschließende Störungen; auch eine genaue Justierung der Köpfe ist weniger ausschlaggebend.

Literatur: Booth, A. D. und Booth, K. H. V.: Automatic Digital Calculators. London 1953, (s. S. 122).
Pearson, R. T.: The Development of the Flexible-disk Magnetic Recorder. Proc. IRE (Jan. 1961), S. 164–174.

8.3.6 Matrizen-Speicher

Nach der Entdeckung von Magnetmaterial mit rechteckiger Hysteresekurve und Herstellung von Ringkernen (Abb. 119—120/8.3.6.1) (siehe auch 8.1.4) wurde an der Harvard-Universität zuerst ein Schieberegister damit gebaut und als Verzögerungsstrecken-Speicher in einem Rechner benutzt. Weniger Aufwand verlangt das Koinzidenzstrom-Prinzip in einer Speichermatrix; dieser Gedanke wurde am Massachusetts Institute of Technology entwickelt (Abb. 117—118/8.3.6.1) (erste Veröffentlichung: J. W. Forrester, Journ. appl. Physics, Jan. 1951). Anfang 1953 wurde dort ein Memory Test Computer (siehe Abb. 35—36/6.1) gebaut, und nach guten Ergebnissen von Papian der erste Kernspeicher zum „Whirlwind" I (siehe Abb. 13—16/6.1) des MIT (Lincoln Lab.) entworfen. Allerdings hatte schon 1947 Booth in einer Vorlesung in Cambridge (England) einen „iron nail store" nach diesem Prinzip vorgeschagen.

Da das im Kreuzungspunkt der beiden erregten Spalten- und Zeilendrähte induzierte Magnetfeld im betreffenden Ringkern auch ohne dauernde Energiezufuhr erhalten bleibt, ist hier erstmals ein Speicherverfahren mit extrem schnellem Zugriff (von anfangs einigen bis heute einigen Zehnteln µs) entstanden, das die eingespeicherte Information auch bei Stromausfall bewahrt; außerdem ist die Abgabe-Spannung in Höhe von etwa 1/10 der Einschreibspannung sehr viel günstiger als bei den vorherigen Speicherverfahren. Die Schaltgeschwindigkeit wird durch die Ummagnetisierungszeit des Materials und die Erwärmung bei hohen Schaltfrequenzen begrenzt; sie liegt bei kleinsten Magnetkernen (0,53 mm ∅) bei etwa 0,4 µs für einen Zyklus von Ablesen und Einschreiben.

8.3.6.1 Matrizen-Speicher mit Ferrit-Ringkernen

Ringkernspeicher konnten durch Verkleinerung der Kerne immer schneller und durch technologische Fortschritte in der Herstellung immer größer werden, so daß Arbeitsspeicher von 128 Kilo bytes für Rechenanlagen die Regel wurden und selbst Großkernspeicher mit Kapazitäten von einigen Millionen Zeichen als Externspeicher für direkten Zugriff zur Verfügung stehen.

8.3.6.2 Matrizen-Speicher mit Ferritplatten

Das Speicherprinzip der Ringkerne geht nicht verloren, wenn mehrere Bohrungen in einer Ferritplatte angeordnet und sie ähnlich wie eine Reihe oder Matrix von Ringkernen verdrahtet werden (siehe 8.1.4). Durch geschickte Anordnung der Löcher läßt sich erreichen, daß sich die Flußänderungen im Umkreis der Löcher in ihrer Wirkung zu logischen Funktionen nutzen lassen, so daß aus einer Platte beispielsweise ein komplettes Schieberegister wird (Abb. 125/8.3.6.2).

Patente: Magnetische Schrittschalt- und Speichervorrichtung, DAS 1 078 171 (21 a 136) vom 19. 2. 1957.

8.3.6.3 Matrizen-Speicher mit dünnen magnetischen Schichten

Die Grenzen der Schaltgeschwindigkeit bei Ferritkernen und -platten lassen sich durch Verringerung der Abmessungen erniedrigen; allerdings erfordert das eine andere Technologie; das Aufdampfen dünnster Schichten aus magnetisierbarem Material (beispiesweise aus 80 % Nickel, 20 % Eisen und etwas Kobalt) im Vakuum. Schichtdicke ist 100 bis 1000 Ångström. Als Träger dieser Matrixschicht dient Glas (bei Burroughs und Remington Rand UNIVAC 490 und 1107; *Lit.: Computers and Automation, Sept. 1962*), Silber mit isolierender Siliziumoxydschicht (IBM) oder Aluminiumblech (ICT). Schaltzeiten waren anfangs 600 ns, dann 100 und 50 ns; die Speicherkapazitäten liegen z. Z. bei 200 000 Bits, wobei bis zu 90 Bits je cm² Fläche angeordnet sind. Auch die Schreib- und Lese-Leitungen sind z. T. aufgedampft.

Zuerst entwickelt wurde dieses Prinzip von MIT ab 1959, wo ab 1961 der Versuchsrechner FX 1 mit Dünnschichtspeicher als Hauptspeicher (mit 0,3 µs Zykluszeit und 12 000 Bits) gebaut wurde. Auch Burroughs liefert seit einiger Zeit Dünnschichtspeicher und baut sie in den Rechner B 825 ein (siehe Abb. 10/7.1). Ein Beispiel für die Erfolge der Miniaturisierungsbestrebungen gibt die Entwicklung des „Compact"-Datenspeichers bei RCA (1964), bei dem auf eine Karte von Spielkartengröße 16 384 Wörter gespeichert werden können.

Die in diesen Bauweisen erreichbaren kürzesten Schaltzeiten können andererseits nur ausgenutzt werden, wenn die Leitungslängen zwischen den Schalt- und Bauelementen drastisch gekürzt werden. Versuchte man anfangs, durch optimale Anordnung der Schaltglieder die Leitungslänge zu vermindern, so half grundlegend nur die Entwicklung neuer „integrierter Baugruppen" und der „Mikromodul"-Technik, die in 8.2.3 erwähnt und gezeigt sind.

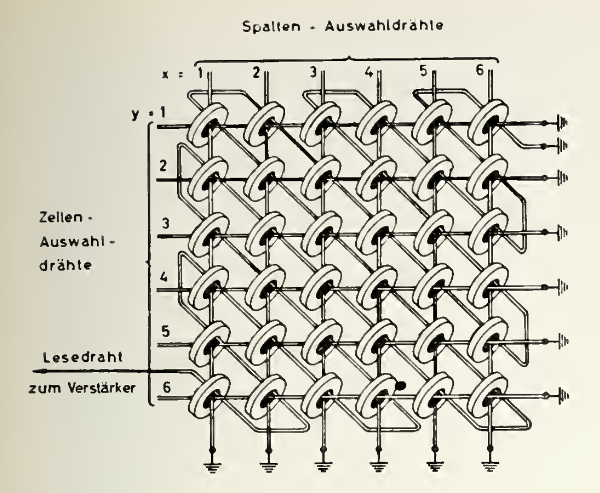


Abb. 116/8.3.6
Speichermatrix für Einzelkernaufruf (Prinzip)

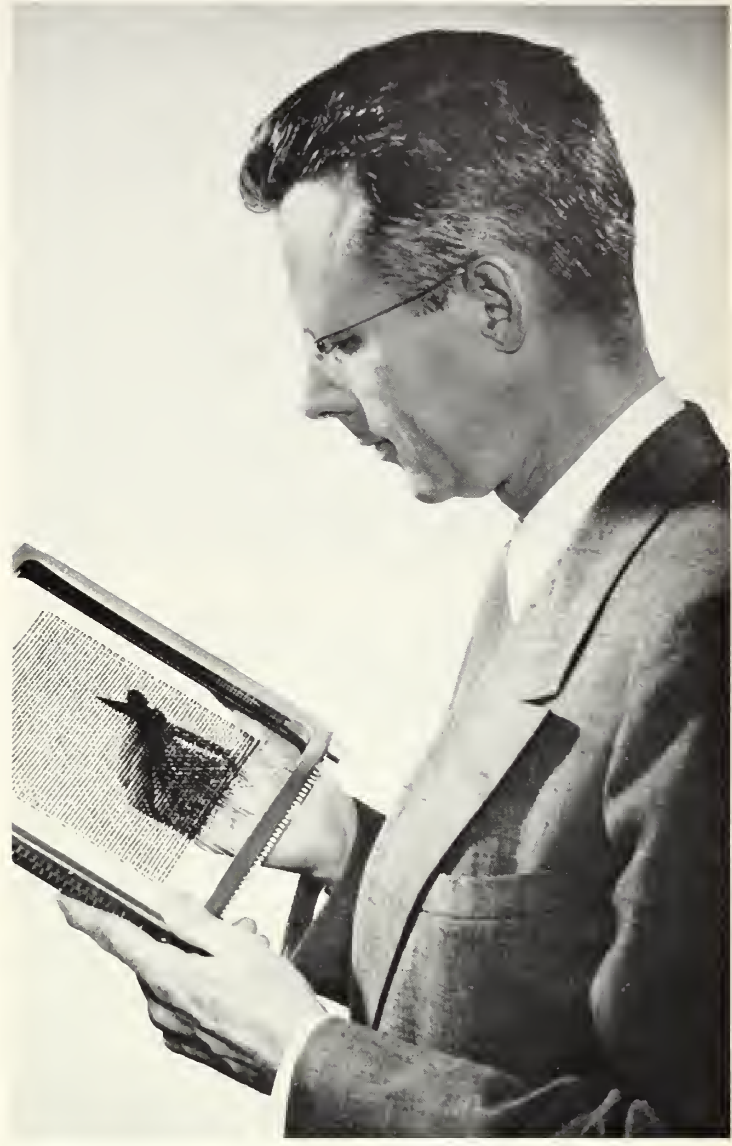
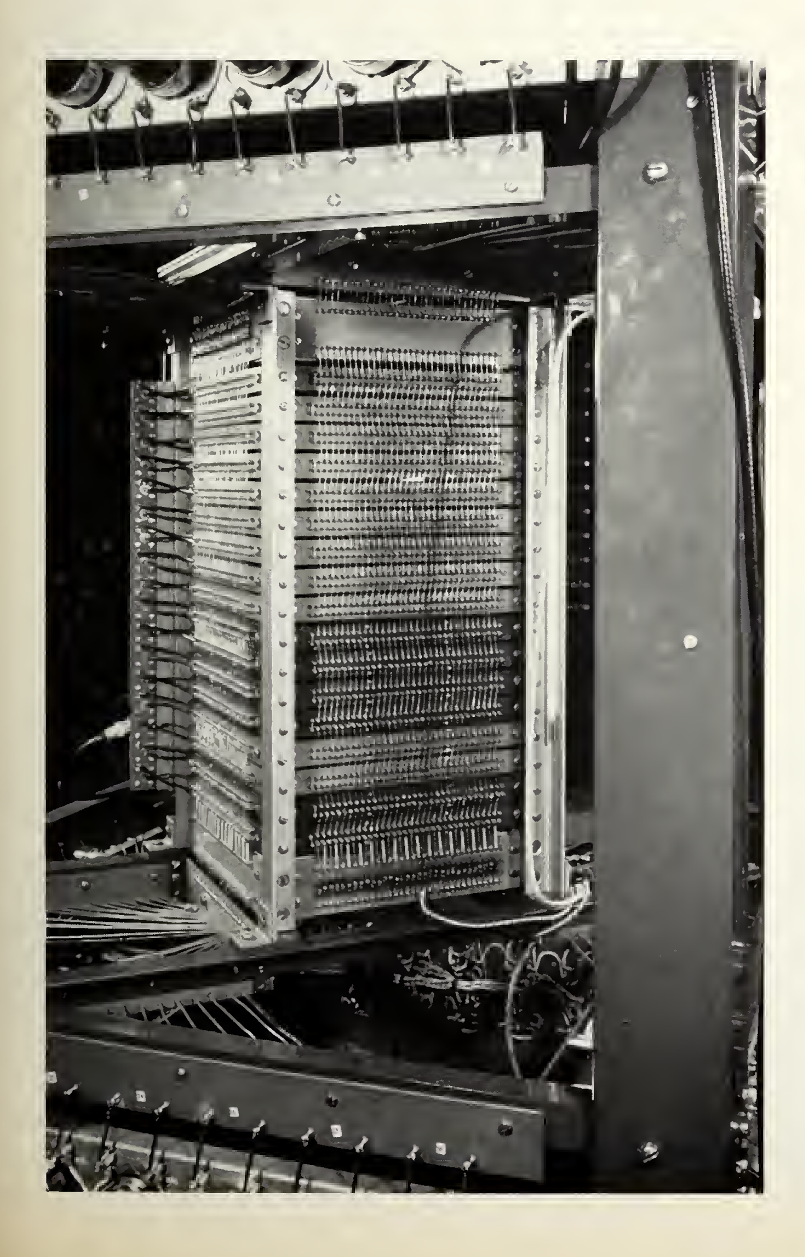


Abb. 117/8.3.6.1
J. W. Forrester mit einer der ersten Ferritkern-Matrizen, die 1953 im MIT entwickelt und später in Whirlwind I eingebaut wurden.



Eine Sonderform des Dünnfilmspeichers benutzt den Bit-Draht als Träger der magnetisierbaren Schicht. Viele parallel eingebettete Drähte werden durch ein Raster von beiderseits isoliert aufgebrachten, ebenfalls aus aufgedampften dünnen Schichten bestehenden Wort-Leitungen zu einer Matrix ergänzt. Einfache Massenfertigung, kurze Zykluszeit (30 ns) und günstiger Preis sind die Vorteile dieser Bauart.

Ausführungen: NCR Rod Memory Computer, UNIVAC 9000 System, Toko/Japan, u. a.

Literatur: Fedde, George, A.: Plated wire memories. Electronics, 15. 5. 1967, S. 101–109.

Abb. 118/8.3.6.1
Der erste Ferritkernspeicher im Versuchsaufbau: „Memory Test Computer" des MIT (1953)

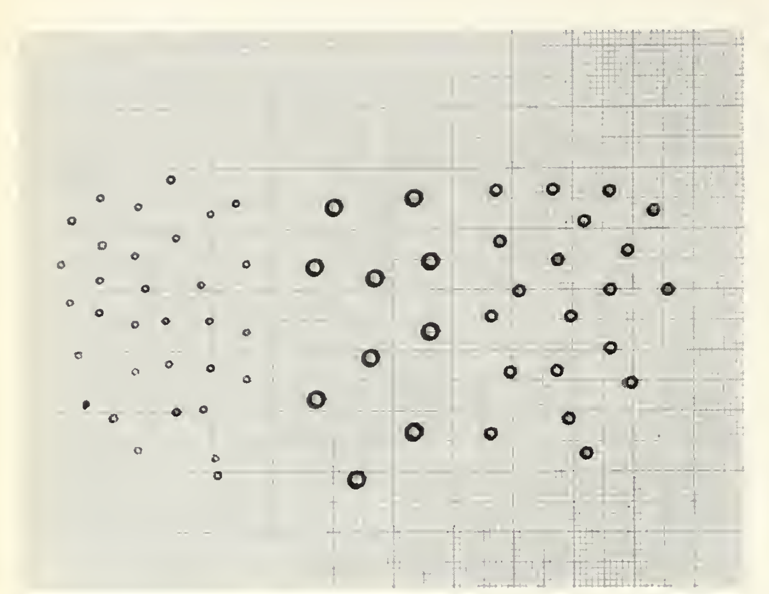


Abb. 119/8.3.6.1
Ferritkerne mit 3 mm, 2 mm und 1,3 mm Durchmesser

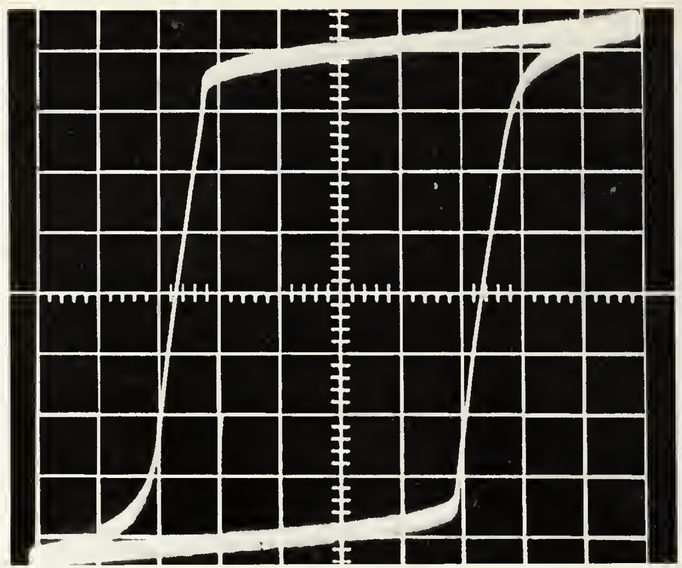


Abb. 120/8.3.6.1
Rechteck-Hysteresisschleife eines Ferritkerns

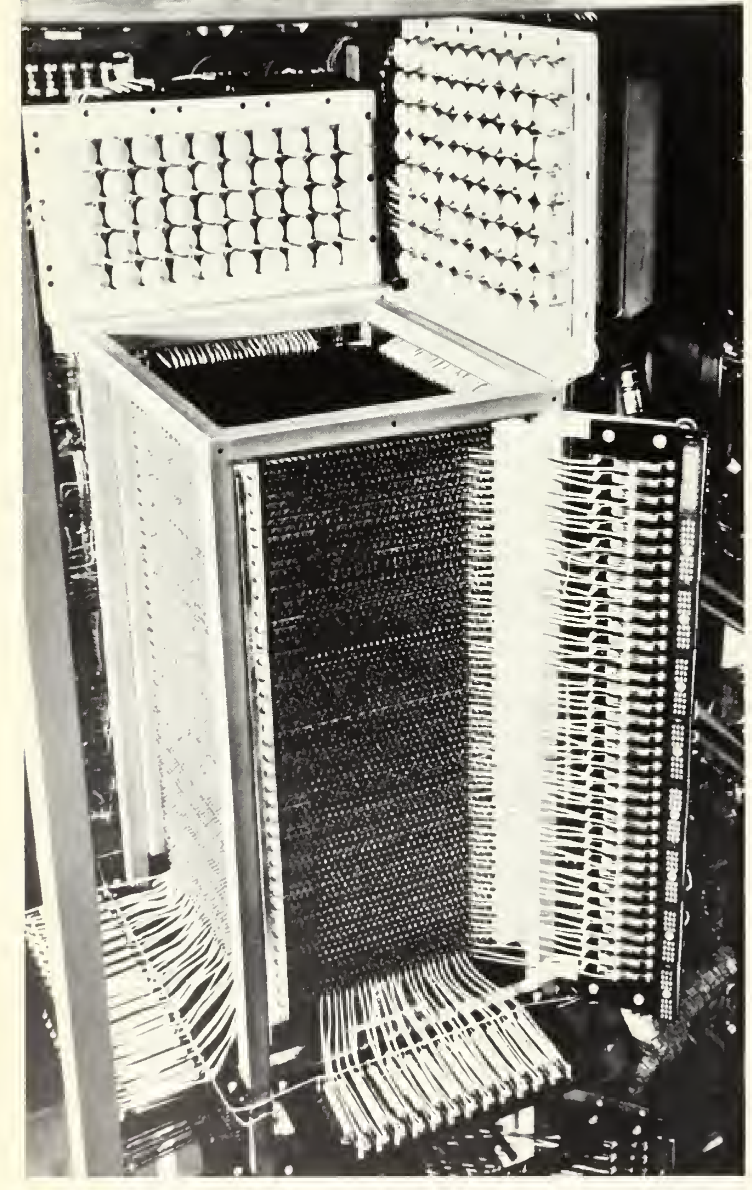


Abb. 121/8.3.6.1
Magnetkernspeicher der IBM 705

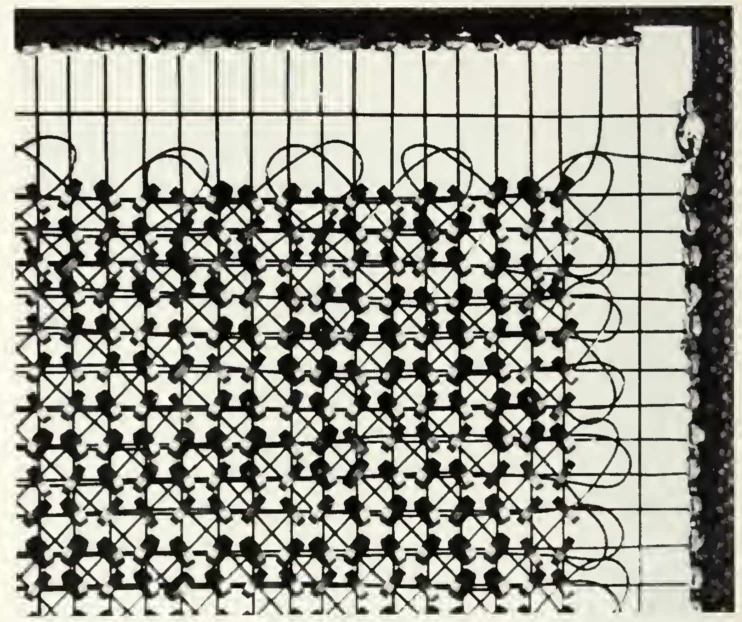


Abb. 122/8.3.6.1
Verdrahtung einer Speichermatrix

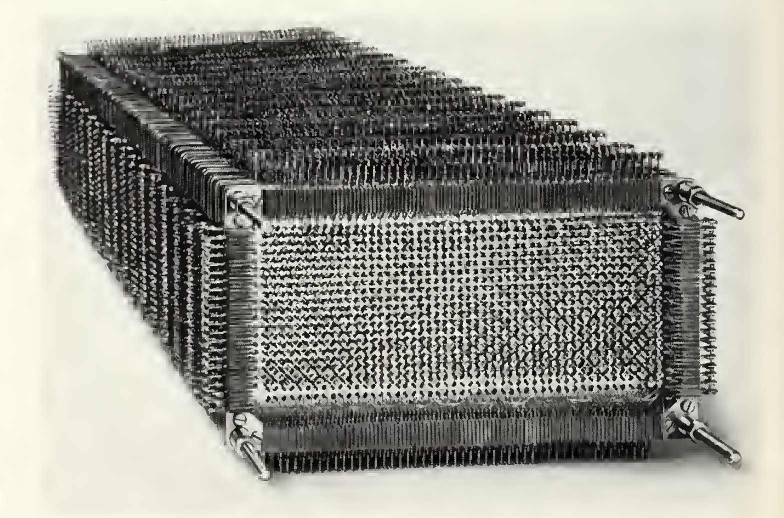


Abb. 123/8.3.6.1
Zusammenbau mehrerer Matrizen (SEL)



Abb. 124/8.3.6.1
Das ist ein Fingerhut, gefüllt mit den Magnetkernen, die für die Speicherung des Wortschatzes eines durchschnittlichen Erwachsenen ausreichen. Die Massenproduktion dieser neuen Speicherkerne mit einem Durchmesser von 0,53 mm ist mit konventionellen Techniken in höchster Qualität möglich. Diese Kerne sind 30 % kleiner als die kleinsten bisher verwendeten Magnetkerne. Sie erzeugen weniger Wärme und ermöglichen einfachere Schaltungen.

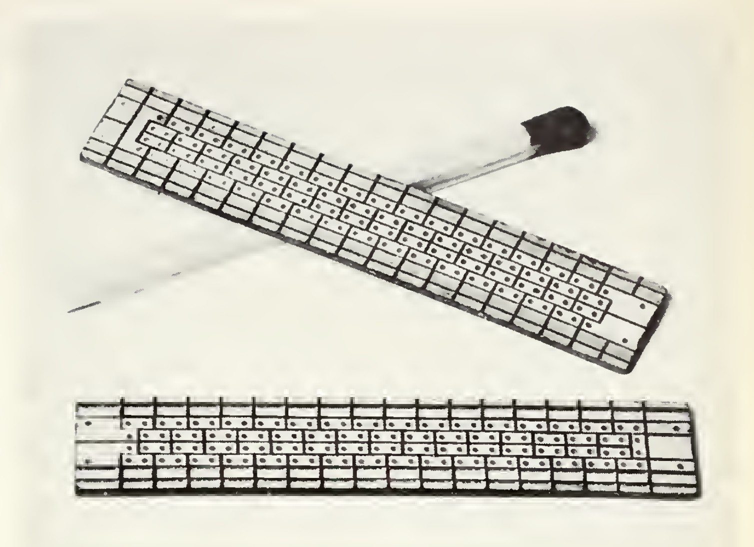


Abb. 125/8.3.6.2
Aus Ferrit gepreßte Platten, die für Speicher mit größter Kapazität verwendet werden (Telefunken).

Ein unübliches Herstellungsverfahren für kleinste Ferritkerne ähnelt dem Kerzenziehen: um einen Plastikkerndraht wird das Ferritmaterial angelagert, dann gesintert und in Scheibchen geschnitten, wobei der „Docht" wegschmilzt und das Kernloch freimacht.

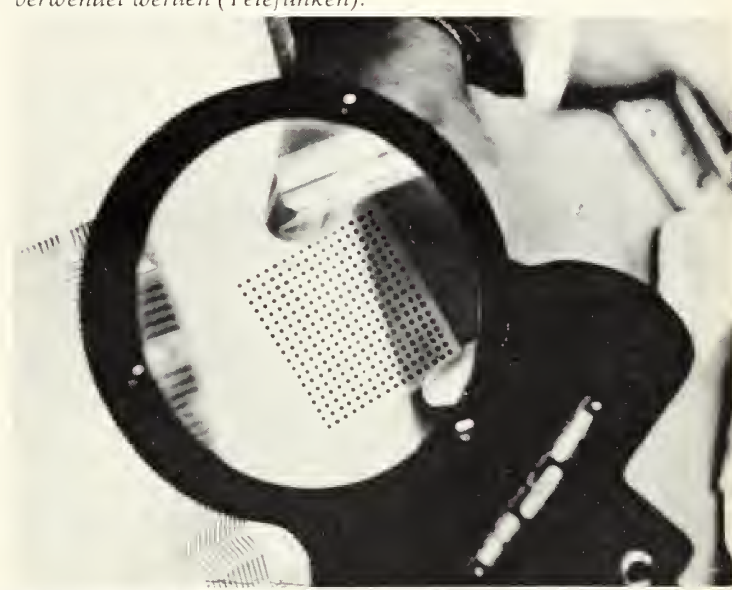


Abb. 126/8.3.6.3
Matrix aus dünnen magnetischen Schichten
Ein Dünnschichtspeicher besteht aus dünnsten ferromagnetischen Scheibchen von 0,5 bis 1 mm Durchmesser, die im Vakuum aufgedampft werden. Die Lese- und Schreibleitungen liegen als Matrix angeordnet in Bandform über den Scheibchen (Remington Rand).

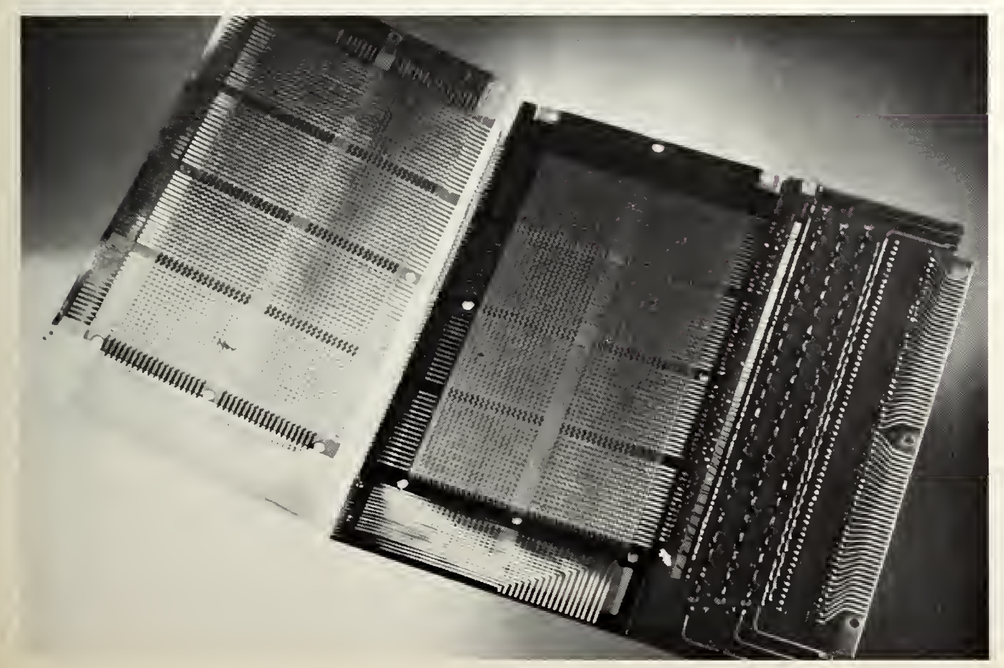


Abb. 127/8.3.6.3
Schaltmatrix für Dünnschicht-Speicher des UNIVAC 1107 (seit 1961)
(Remington Rand)

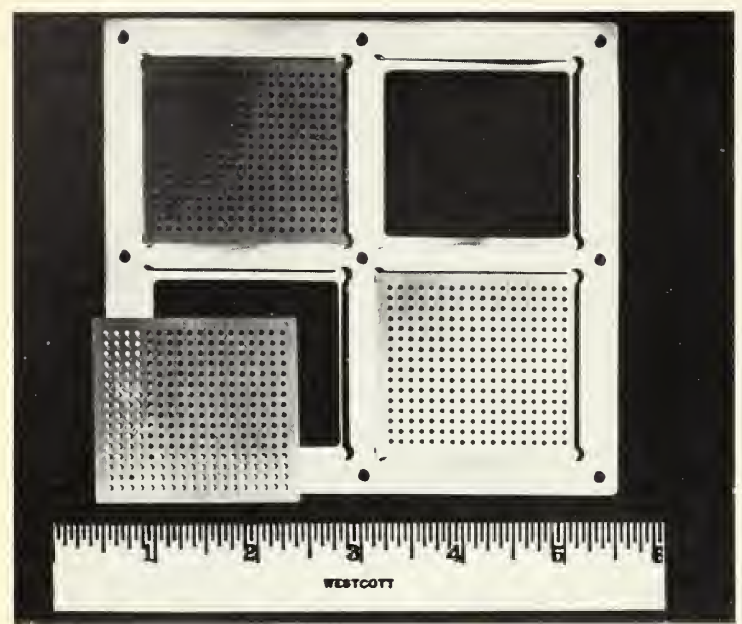


Abb. 128/8.3.6.3
Schablonen zum Aufdampfen der Schichten (Remington Rand)

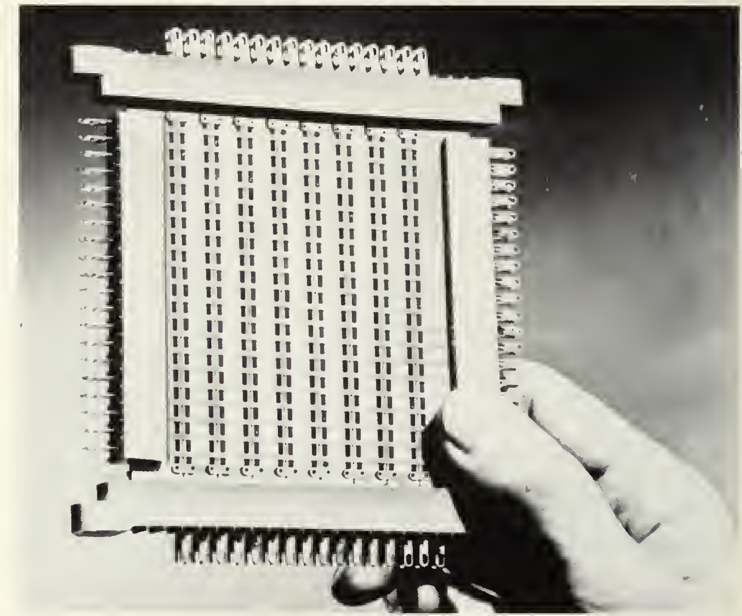


Abb. 129/8.3.6.3
Komplette Ebene eines Dünnschicht-Speichers (Burroughs Corp.)

8.3.7 Kondensator-Speicher

Kondensator-Speicher bestehen aus einfachen und billigen Bauelementen, haben jedoch den Nachteil der begrenzten Speicherdauer.

Dieses Prinzip wurde wohl nur im EMIDEC 2400 der EMI Electronics Ltd. serienmäßig realisiert (ab 1961), wo 64 Wörter bei 1,5 μs Zugriffszeit und 4,5 μs Wortzeit gespeichert wurden.

Ein Versuchsrechner am Institut für Praktische Mathematik der Technischen Hochschule Darmstadt diente unter anderem der Untersuchung dieser Speicherausführung (ASPERA, siehe 5.4.6).

8.3.8 Festwert-Speicher

Sie haben in Rechenanlagen geringe, bei speziellen Datenverarbeitungsanlagen für Zwecke der automatischen Sprachübersetzung und ähnlichen Aufgaben jedoch beträchtliche Bedeutung, um konstante Werte zu speichern; hier z. B. das komplette Wörterverzeichnis, das Lexikon der beiden Sprachen. IBM enwickelte dazu den in Abb. 132/8.3.8 dargestellten optischen Scheibenspeicher, ferner einen Filmspeicher für 700 Mio Bit mit 2 s Zugriffszeit.

Wegen der hohen Zeichen-(Bit-)Dichte in photographischen Schichten haben sich hier vor allem lichtelektrisch abzutastende Codespuren eingeführt; sie lassen sich durch optische Verkleinerung (u. U. von mit üblichen Mitteln gedruckten oder gelochten Codeträgern) leicht herstellen. Mit Schreibung durch gesteuerten Elektronenstrahl lassen sich Speicherdichten von 10^6 Bits/cm^2 und Schreibgeschwindigkeiten von 10^6 Bits/s erreichen.

Zur Konstanten-Speicherung dienen auch Lochkarten in statischen Abtastern. Diese können mit mechanischen Kontaktstiften arbeiten oder auch dielektrisch, indem die Kartenlochung als Zwischenschicht zwischen zwei Kondensator-Belägen eingelegt wird. Der Beleg-Sortierleser Telefunken BSM 1050 besitzt beispielsweise einen Lochkartenabtaster, der für 15 sechsstellige Zahlen benutzt wird, um beim Sortieren Belege vorbestimmter Kontonummern ausscheiden zu können. Lochkarten aus Metall zwischen als gedruckte Schaltungen ausgeführten Leiter-Matrizen als Speicher wurden um 1961 in Rußland und in Japan entwickelt.

Literatur: Yamato und Suzuki: Forming Semi-Permanent Memories with Metal-Card Storage Electronics 34 (17.11.1961), S. 136–141).

Spezielle Speicher für Mikrobefehle bzw. konstante Programmschrittfolgen siehe 9.3.2.2.



Abb. 130/8.3.7
Kondensator-Speicher für 16 Bits. Positive bzw. negavite Ladung repräsentieren die dualen Speicherzustände (Versuchsaufbau IPM Darmstadt).

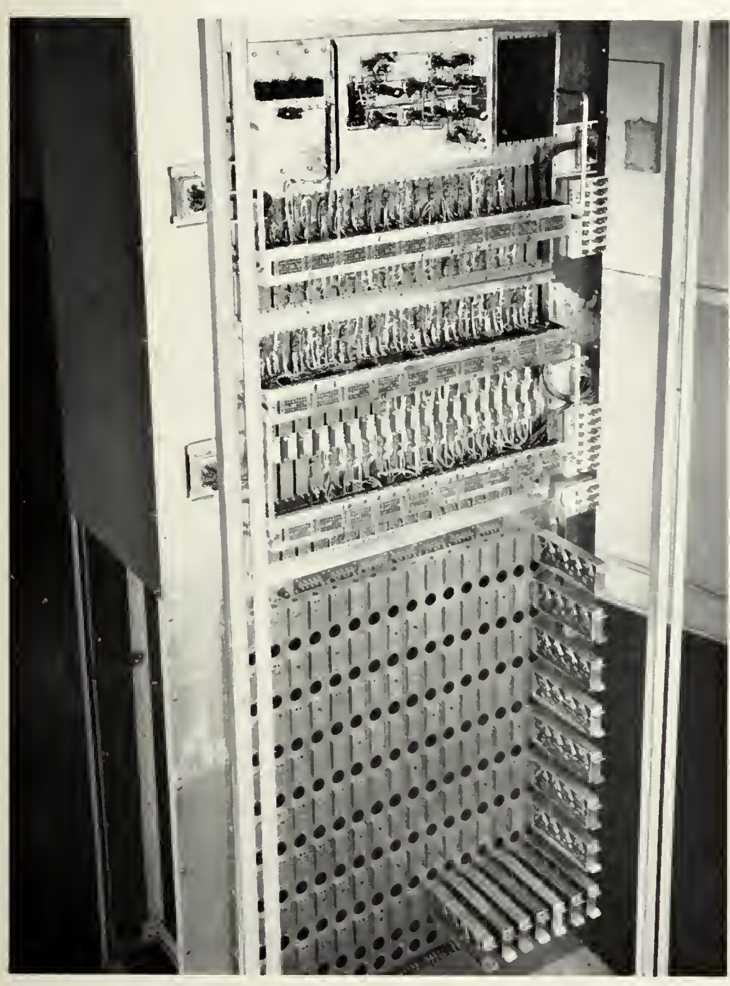


Abb. 131/8.3.7
Versuchsgestell mit Kondensator-Dioden-Speicher. Die Speichersteckeinheiten sind im unteren Teil untergebracht (National Bureau of Standards).



Abb. 132/8.3.8
Optischer Festwert-Speicher (IBM).
Der äußere dunkle Ring auf einer Glasplatte von 25,4 cm Durchmesser besteht aus 700 Spuren, die mit einem transparenten Punkt-Code belegt sind. Kapazität 7 Mio Zeichen, mittlere Zugriffszeit 35 ms. – Ähnlich auch im Memory Centered Processor MCP–1 von Itek, mit 25 Mio Zeichen bei 15 ms Zugriff.



9 Periphere Geräte der Rechenanlagen

9.1 Geräte zur Dateneingabe

Abgesehen von handbedienten Tastaturen dienen zur Eingabe der zu verarbeitenden Informationen — wie zur Ausgabe — oft die gleichen Datenträger, die auch zur zeitweiligen oder anhaltenden Speicherung benutzt werden: vor allem die Lochkarte und der Lochstreifen, in seltenen Fällen auch das Magnetband. In neuerer Zeit schiebt sich der mit maschinell lesbaren Schriftzeichen bedruckte Beleg in den Vordergrund, weil er, ähnlich wie die Zeichenloch- und Verbundlochkarte, aber einfacher zu erstellen, die Funktion des Datenträgers mit der des juristisch gültigen und unter Umständen mit Mitteilungen versehenen Beleges vereint und nicht zur organisatorisch schwer zu beherrschenden Trennung von Datenträger und ebenfalls zu verarbeitendem Original führt.

Literatur: . . . : EDV-Engpaß Daten-Ein/Ausgabe. elektronik-ztg. 7.7. 1967, S. 9–22.

9.1.1 Tastenfelder zur Eingabe von Daten und Programmbefehlen

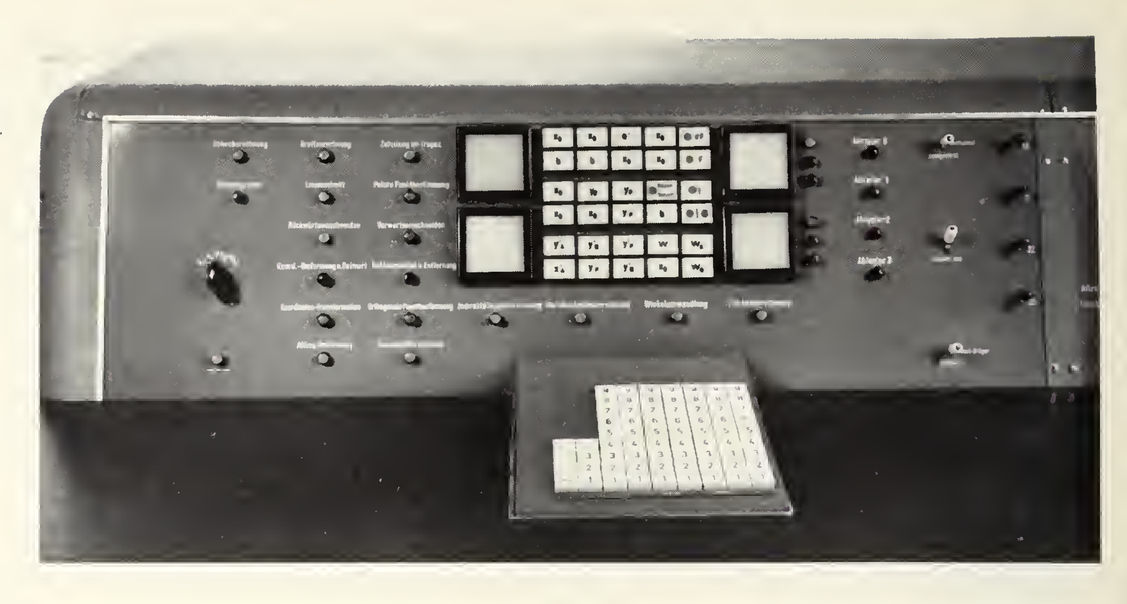
Bei mechanischen Rechenmaschinen wurden anfangs die Dezimalziffern oft durch verschiebliche oder drehbare Einstellorgane, wie Schiebeknöpfe, zu hebende Stangen (s. Abb. 25/1.2), Drehwirtel, Einstellhebel (bei Sprossenradmaschinen oft auch mit dem Schaltwerk umlaufend) und ähnliche Mittel eingestellt.

Erst das zweidimensional-ebene Schaltelement des Proportionalhebel-Prinzips (s. Abb. 34/1.2) begünstigte eine Tasteneinstellung der Ziffern (Mercedes-Euklid von Chr. Hamann), die als Volltastatur danach — oft unter erheblichem Übertragungsaufwand — bei allen größeren Rechenmaschinen üblich wurde.

Die Zehnertastatur ist dagegen für das serielle Eintasten nach Schreibmaschinen-Art noch angenehmer und erlaubt schnelleres Arbeiten, braucht jedoch immer einen Zwischenspeicher mit Stellenverschiebung, den „Stiftwagen" der Addier- und Buchungsmaschinen. Neuerdings werden auch Vierspezies-Rechenmaschinen mit Zehnertastatur versehen (s. Abb. 40/1.2), und somit eine gewisse Einheitlichkeit erreicht, nachdem auch aus der Vielfalt von Tasten-Anordnungen im wesentlichen einige wenige, vor allem die Block-Anordnung in 3 × 3 Tasten allgemein eingeführt sind.

Bei den ersten Relais-Rechenautomaten für wissenschaftliche Zwecke, wie jenen von Zuse, wurde zwar das Rechenprogramm über Lochstreifen eingesteuert, die wenigen Zahlen dagegen über eine Volltastatur (Abb. 1/9.1.1) eingegeben. Bei datenverarbeitenden Anlagen verbietet sich außer für Abfrageplätze, Bedienerpulte und kleine Rechner eine derartige direkte Eintastung; hier werden die Daten im voraus mit tastengesteuerten Geräten in Zwischenmedien, in „Datenträger" wie Lochstreifen oder Lochkarten eingespeichert, so daß die Tastaturen nun an diesen oft büroüblichen Geräten sind. Hier werden im allgemeinen Zehnertastaturen bevorzugt, die dem seriellen Ablochen auch ohne Zwischenspeicherung entgegenkommen. Volltastaturen sind fast nur noch üblich in Buchungsmaschinen mit Blockdruckwerken, die auch, mit maschinenlesbaren Typen ausgerüstet, zum Bedrucken der Belege im Bank- und Buchungsgeschäft eingesetzt werden.

Abb. 1/9.1.1
Eingabetastenfeld des Relaisrechners ZUSE Z 11 (s. Abb. 21–23/5.4.6) mit siebenstelliger Volltastatur (1955).



9.1.2 Lochstreifenleser

Die historische Entwicklung der Lochstreifengeräte für die Telegraphen- und Fernschreibtechnik ist in 3.1 dargestellt.

Obschon zur Zeit der Entwicklung der ersten Rechenanlagen die Streifenlocher und -leser der Fernschreibtechnik zur Verfügung standen, wurden vielfach eigene Geräte entwickelt, um den Code des Rechners nicht erst in den zum Rechnen ungeeigneten Fernschreibcode umsetzen zu müssen, und auch um die voll-dualen Zahlen direkt einspeichern zu können. Zuse baute daher den dualen Locher und Leser für 8stellige Dualzahlen, die als Block angeordnet waren (Abb. 3/9.1.2).

Als Lochträger diente gebrauchter Kinofilm, der durch seine Perforation ein exaktes Vorschieben gewährleistet. Ebenso wurde bei dem russischen Rechner URAL ein Kinofilm als Lochstreifen benutzt, der jedoch lichtelektrisch abgetastet wurde (Abb. 4/9.1.2).

Breite Lochbänder zum parallelen Abspeichern von Ziffernblocks sind von Vorteil besonders beim Ablochen von Hand in Verbindung mit Volltastaturen von Buchungs- und Saldiermaschinen, weil hier Eintast-Fehler noch vor dem Drücken der Motor-Lochertaste korrigiert werden können. Daher wurden breite Lochbänder mit spaltenweiser oder gar blockweiser Lochung besonders für die Datenerfassung bei kaufmännischen Anwendugen auch später noch eingesetzt, so beispielsweise bei Exakta-Bull-Buchungsmaschinen mit Lochbandstanzern und in Verbindung mit Olympia-Saldiermaschinen; die Lochbänder wurden im Bull-Kartendoppler mit Bandleser in Lochkarten umgesetzt (Abb. 7 und 8/9.1.2).

Mit dem Vordringen der elektronischen Rechenanlagen mit binär codierten Dezimalstellen und serieller Arbeitsweise wurde das Problem des schnellen Umsetzens weniger ausschlaggebend, so daß heute die serielle Lochung in normalbreiten Lochstreifen dominiert. Die ältere mechanische Abtastung der Lochung trat bei steigenden Ansprüchen an schnelles Lesen zurück gegen die lichtelektrische und die dielektrische, mit denen normalerweise 1000 Zeichen/s (Abb. 9/9.1.2), maximal 2000 Zch/s (im Durchlauf bei Steuerung der Lesegeschwindigkeit über den Inhalt des Pufferspeichers bei GIER) gelesen werden können.

9.1.3 Lochkartenleser

Die Maschinen der Lochkartentechnik wurden in 2.3 dargestellt; sie wurden im wesentlichen unverändert auch in die großen Rechenanlagen übernommen. Erst in neuester Zeit ergibt sich eine konstruktive Neuausrichtung insofern, als die lichtelektrische Abtastung der Lochung für schnelles Lesen bevorzugt wird und die bei den Beleg-Sortiermaschinen entwickelten Verfahren zum Abzug und zum Vereinzeln der Lochkarten mit Reibung oder Saugluft herangezogen werden; die schnellsten Maschinen (= 33 Karten/s) sind aus Beleg-Sortierlesern umentwickelt (Burroughs B 129, NCR 380 und UNIVAC 1001). Dies hat meist den Übergang vom zeilenweisen zum spaltenweisen (seriellen) Lesen zur Folge.



Abb. 2/9.1.1
Zehnertastatur des Eingabepultes des Kleinrechners IBM 610. In der Mitte des Tastenfeldes die zehn Zifferntasten in üblicher Blockanordnung; rechts und links davon Steuertasten.

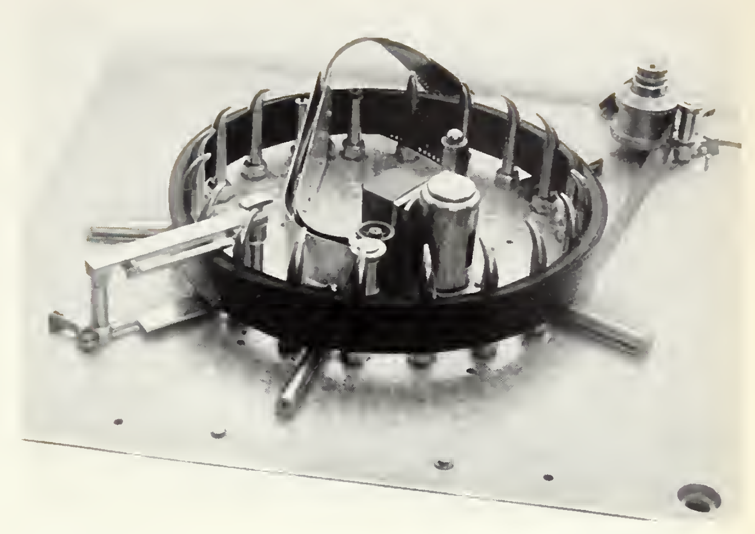


Abb. 4/9.1.2
Endlos-Lochstreifen-Schleife aus 35 mm-Film mit lichtelektrischer Abtastung beim Rechner URAL (s. Abb. 4/6.5).

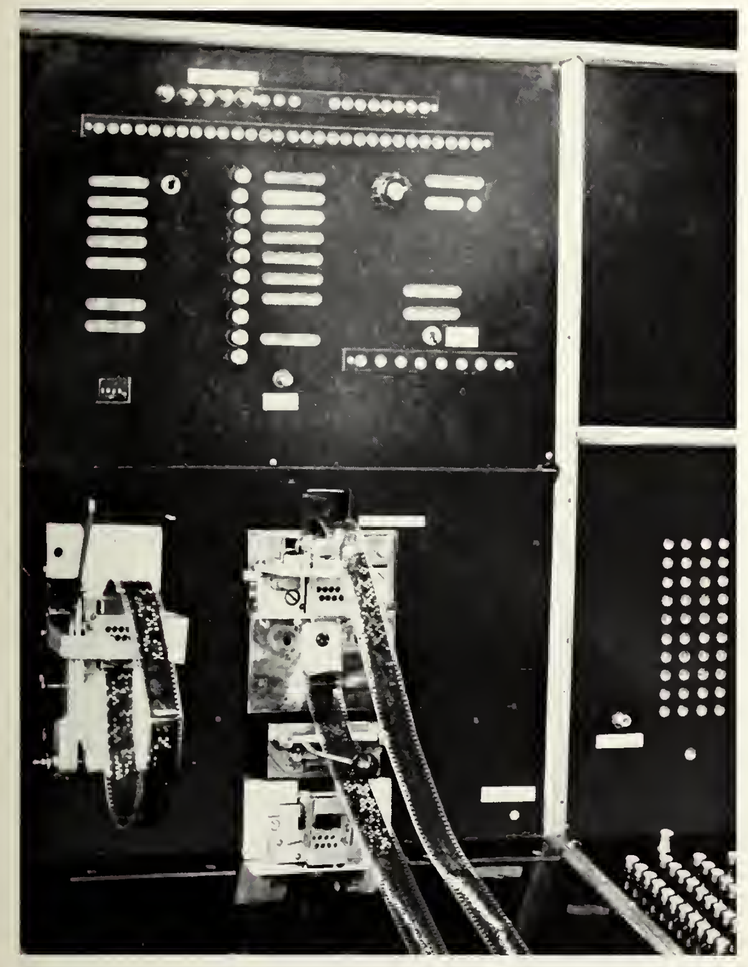


Abb. 3/9.1.2
Lochstreifen-Programmeingabe der ZUSE Z 4 (1944) (s. Abb. 13–17/5.4.6).
Lochschema des 8-Spur-Lochstreifens siehe Abb. 14/5.4.6.
Abtaster für Endlos-Programmschleifen für Unterprogramme und für den Hauptprogrammstreifen; als Träger dienten 35 mm-Kinofilme.

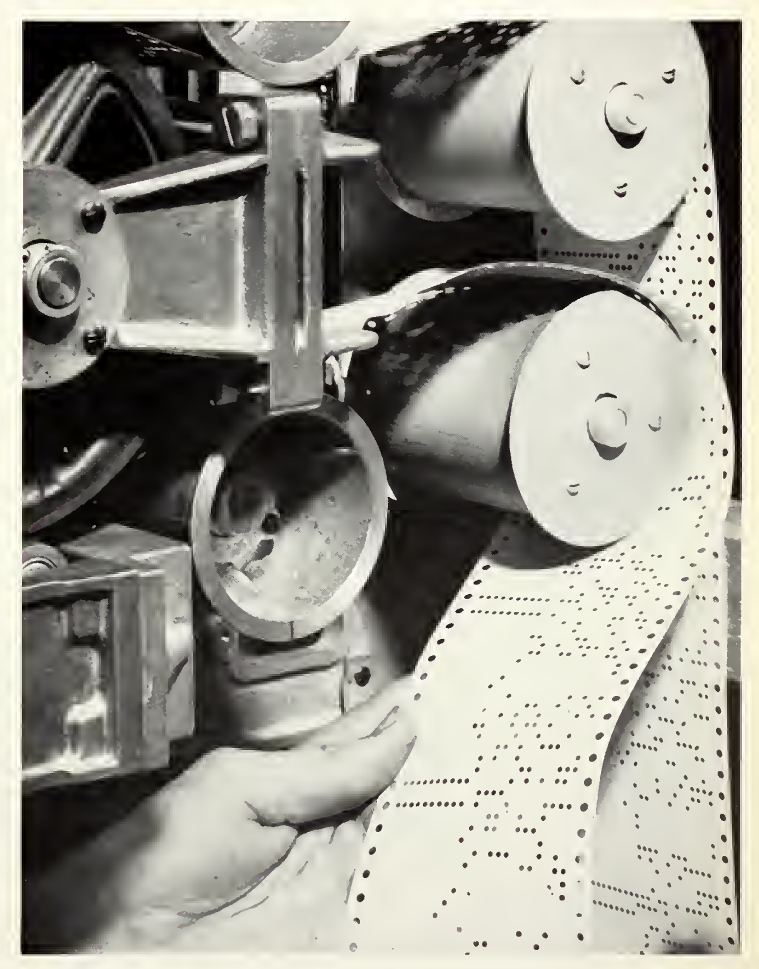


Abb. 5/9.1.2
Lochbandleser des Aiken-Mark I (1944) (s. Abb. 6/4.2).
Diese parallel ausgelochten Bänder dienten zum Speichern und Eingeben von Funktionstabellen.

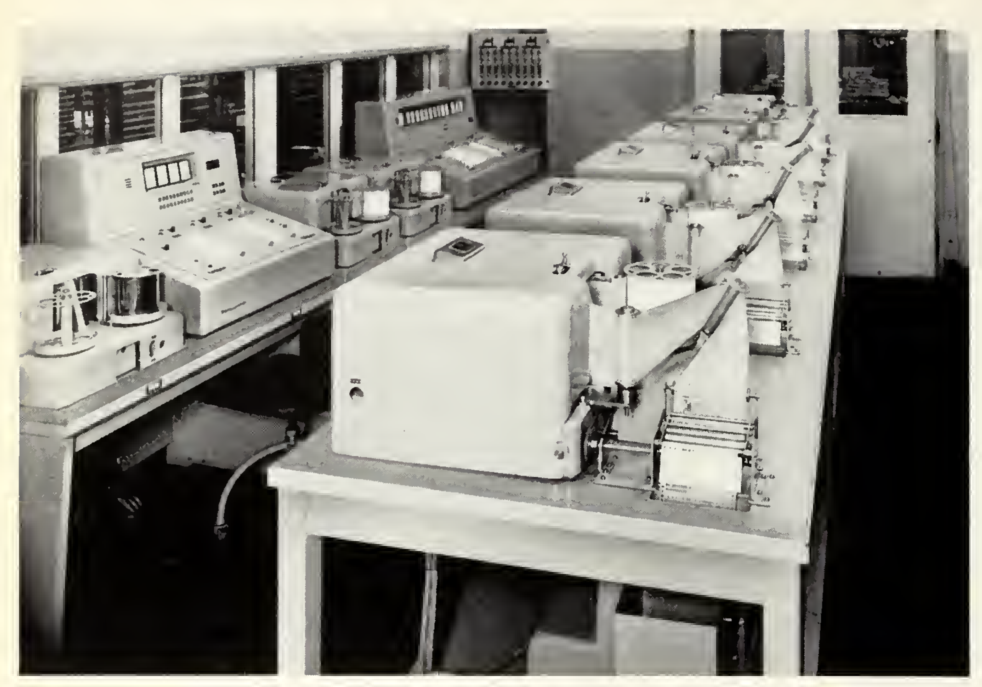


Abb. 6/9.1.2
Lochbandstanzer und -leser für 72-spurige Bänder für das Programm im Dreiadreß-System des ETL-Mark II Relaisrechners (Japan, 1955) (siehe auch Abb. 7–9/5.6.6).

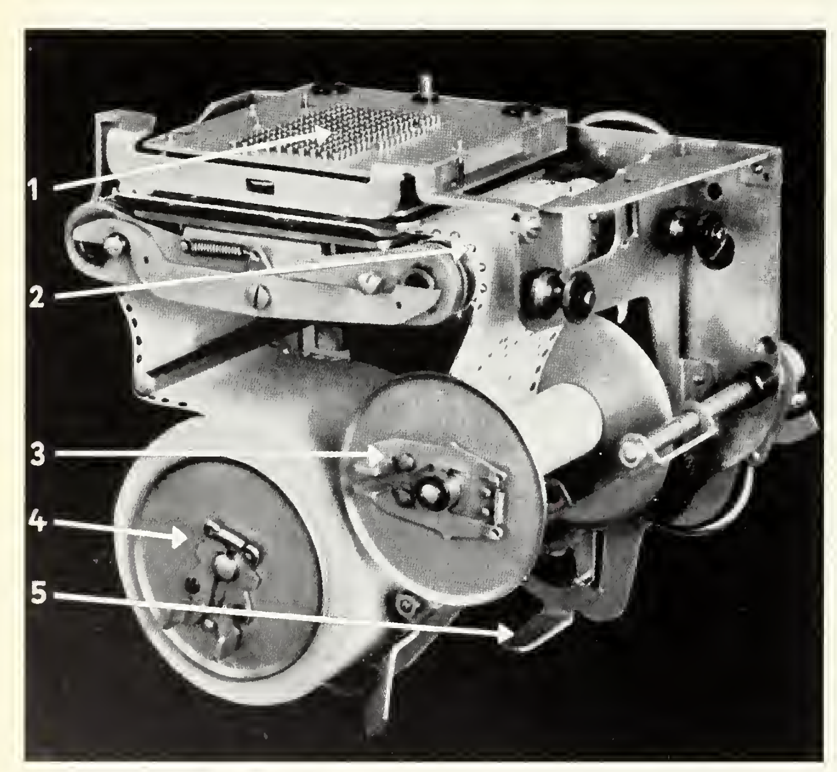


Abb. 7/9.1.2
Bandstanzeinrichtung der BULL-Exakta-Buchungsmaschinen
1) Stanzstempel 2) Bandtransport 3) Aufwickelrolle
4) Vorratsrolle 5) Bandbremse

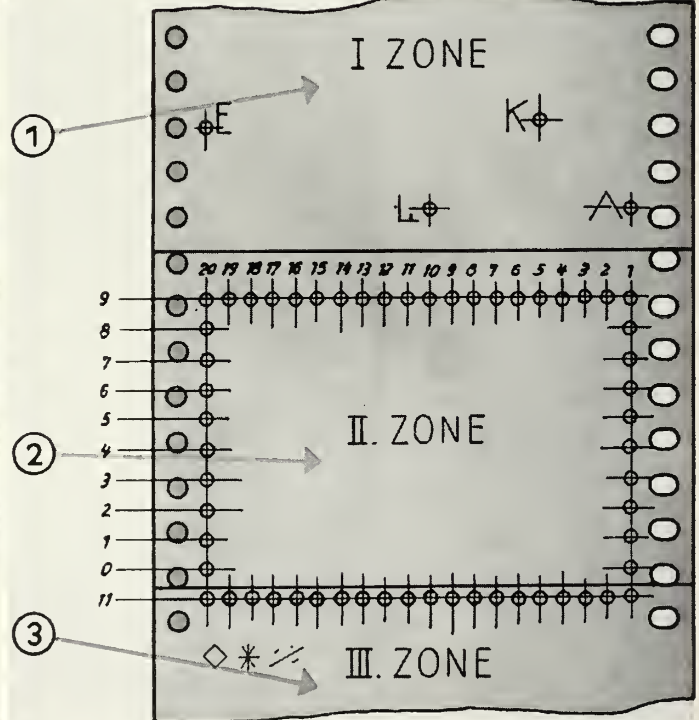


Abb. 8/9.1.2
Stanzschema eines Lochbandabschnittes (BULL-Exakta)
1) vier Steuerlochungen 2) Zahlenfeld für 20 Stellen
3) Überlochzone für Vorzeichen u. a.



Abb. 9/9.1.2
Lichtelektrischer Lochstreifenleser Electrologica EL 1000
Leistung 1000 Zch/s, mit Stop innerhalb eines Zeichens, umschaltbar für 5-, 7- und 8-Spur-Lochstreifen; auch mit zweiter Lesestation zur Lesekontrolle auszurüsten.

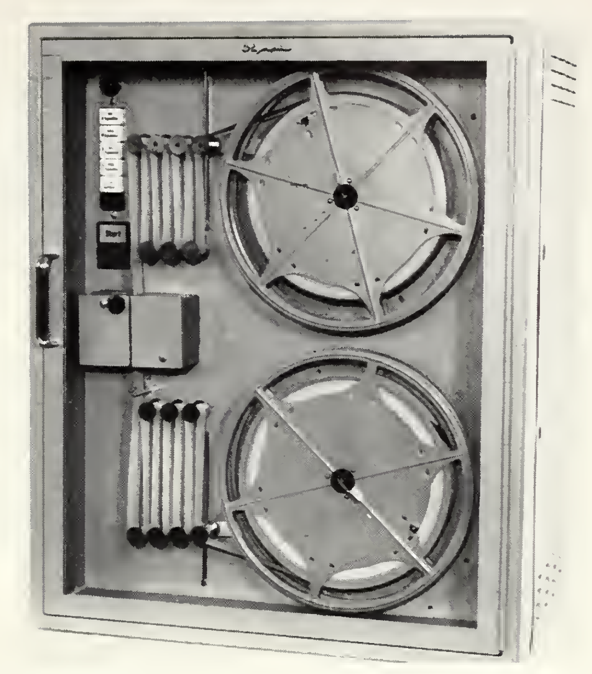


Abb. 10/9.1.2
Lichtelektrischer Lochstreifenleser Olympia mit großen Spulen

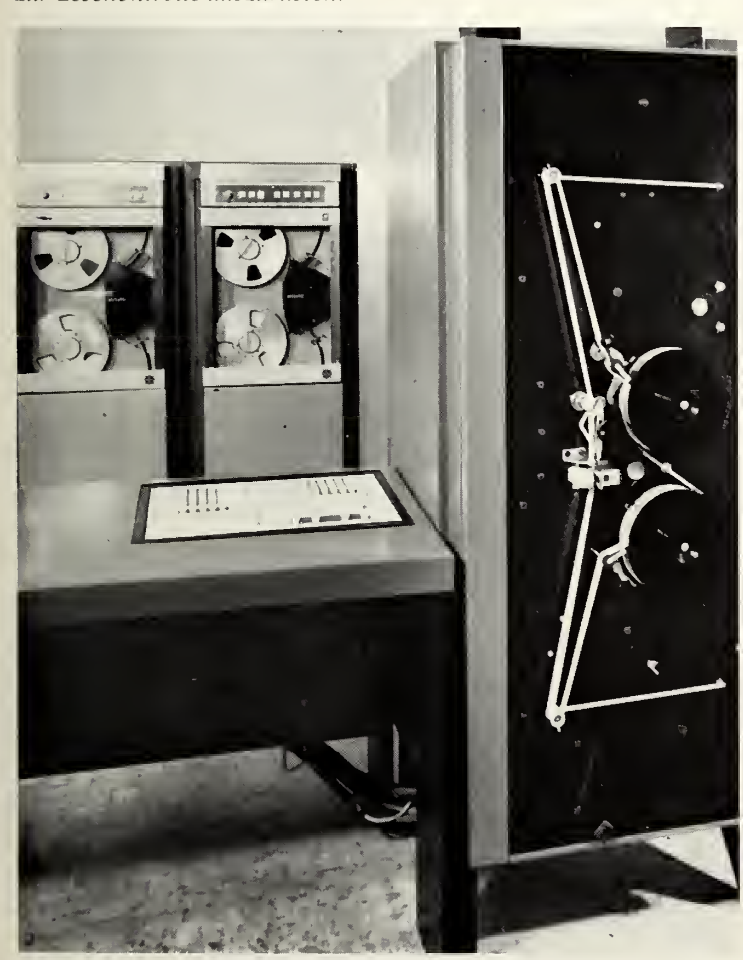


Abb. 11/9.1.2
Lochstreifenleser der OLIVETTI-ELEA-Rechenanlage in der Universität Padua.



Abb. 12/9.1.3
Lochkartenleser für Programmeingabe des IBM SSEC (1948) (siehe auch Abb. 5–8/6.1)
Leistung 30 000 Bit/min.

9.1.4 *Magnetband-Beschreiben*

Das Magnetband (historische Entwicklung siehe 8.3.5.1) wurde zuerst beim Mark III von Aiken als Speichermedium für Programme benutzt und mit einem gesonderten tastaturgesteuerten Gerät erstellt (s. Abb. 80/9.3).

Die Magnetband-Schreibmaschine UNITYPER (Abb. 13/9.1.4) von Remington Rand UNIVAC arbeitete in einem ähnlich direkten Verfahren. Das damit erstellte sehr weitabständig beschriebene Magnetband war anschließend in ein Speicherband der Rechenanlage umzuwandeln.

Die 1964 auf den Markt gebrachte Magnetband-Schreibmaschine IBM besteht aus einer Kombination der Schreibkopf-Schreibmaschine IBM 735 mit einem oder zwei angeschlossenen Magnetbandgeräten mit einspurig beschriebenem 16 mm breiten Band. Dieses mit einem Bitabstand von 1,25 mm belegte Band ist jedoch nicht in andere Magnetbandgeräte umzuspeichern, dient also lediglich als löschbarer Speicher für den Schreibautomaten.

Moderne Verkopplungen von Saldier- und Schreibmaschinen (Facit) und Registrierkassen (Hugin) mit Magnetbandgeräten sowie das kombinierte Magnetband-Beschreib und -Prüfgerät 1101 von Mohawk Data Sciences Corp. liefern dagegen direkt übliche 1/2″-Magnetbänder.



Abb. 13/9.1.4
Schreibmaschine zum Magnetband-Beschreiben „UNITYPER". Bei jedem Typenhebel-Anschlag wird das Band mit den Codeimpulsen beschrieben; Schreibdichte 2 Zch/mm. (Remington Rand UNIVAC)

9.1.5 *Eingabe durch Belegleser*

Bei der Datenverarbeitung durch elektronische Anlagen handelt es sich im allgemeinen um Aufgaben, welche geringe Anforderungen an die mathematisch-rechnerische Leistungsfähigkeit, dafür aber umso mehr an die peripheren Geräte zur Ein- und Ausgabe der Informationen stellen, da sehr große Mengen von Zahlen oder — bei linguistischen Problemen — von alphanumerischem Text umzusetzen sind. Es wäre unrationell, alle diese Informationen aus den sie tragenden Original-Dokumenten abzulesen und in spezielle Datenträger einzubringen; seit langem ist es daher das Bestreben der Organisatoren, die Urbelege selbst direkt als Eingabe-Datenträger einsetzen zu können. Ein erster Schritt dazu war die Einführung der Zeichen-Lochkarte (siehe 2.4), welche ein automatisches Umsetzen der von Hand markierten oder maschinell eingedruckten Ziffern in die Kartenlochung erlaubte (Abb. 16/9.1.5). Zweiter Schritt war die Verkopplung von Streifenlochern mit Büromaschinen, so daß beim ersten Ausstellen von Buchungsbelegen und dgl. sogleich ein maschinenlesbarer Datenträger entstand. Eine kleine Umänderung der Lochung im Streifen führte sogar zur Darstellung der Ziffernformen durch — meist drei — Lochspalten, also in einem 3 × 6-Lochraster. Es entstanden Lese- und Sortiermaschinen für Urbelege, die mit den zu verarbeitenden Zahlen in Lochziffern gelocht wurden (Abb. 18/9.1.5) und mit der einer lichtelektrischen Abtastung von Lochungen eigenen Sicherheit gelesen, sortiert und verarbeitet werden konnten (Abb. 17/9.1.5). Seit langem aber bemühte man sich, auch Lesemaschinen für Ziffern üblicher Form und Aufschreibung zu entwickeln. Nach vielen Versuchen wurde 1956 von General Electric (Stanford Research Institute) das ERMA-System zur Bankautomation ausgeliefert, welches vorsah, die Kontonummer der Schecks auf der Rückseite zu codieren bzw. später mit einer speziellen, etwas stilisierten Zifferntype mit magnetisierbarer Druckfarbe auszudrucken und sie automatisch-magnetisch zu lesen und zu verbuchen. Diese bahnbrechende Entwicklung führte weiter zur Konstruktion einer

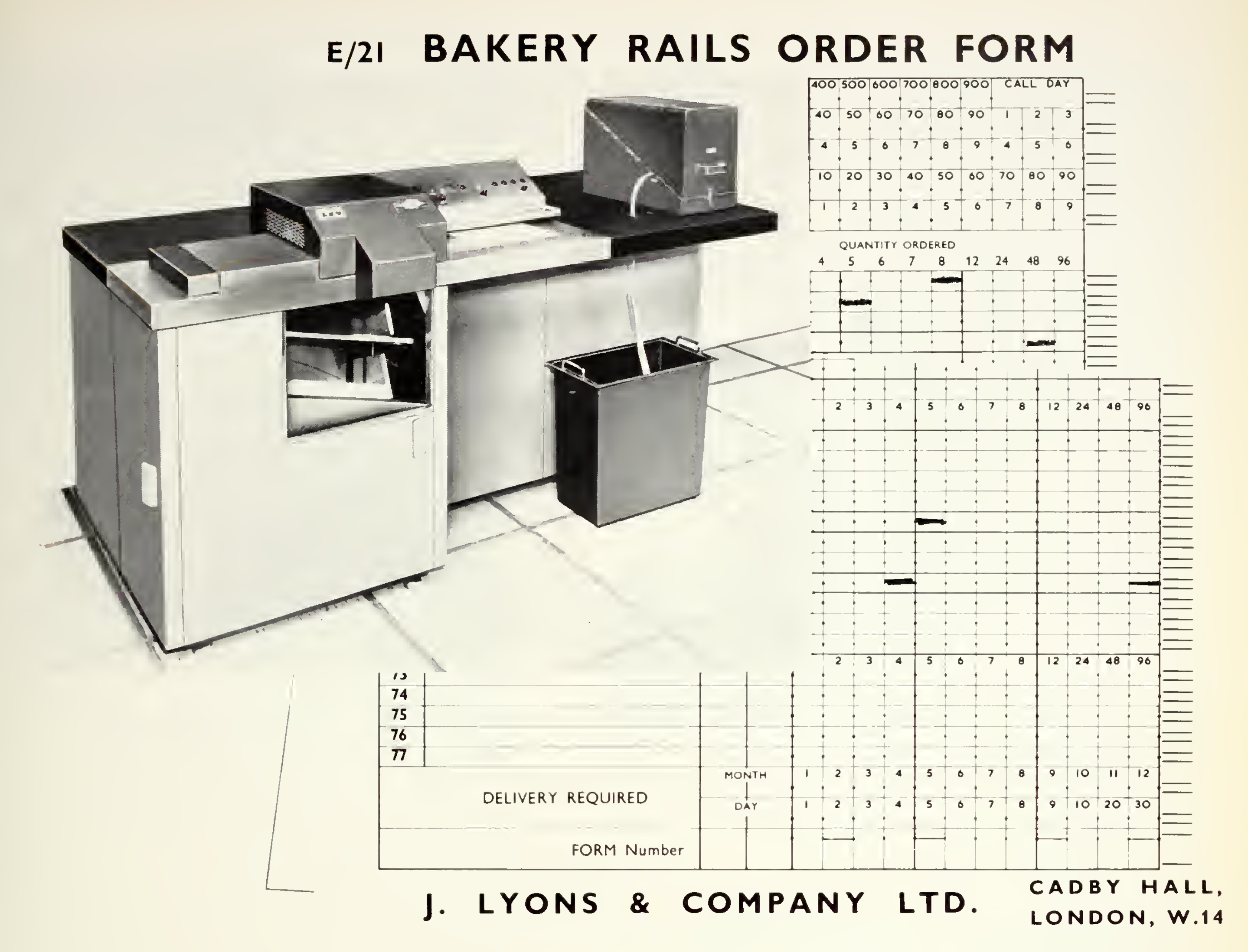


Abb. 14/9.1.5
LEO-Belegleser für Strichmarken-Belege (1960). Ausgabe in Lochstreifen.

Reihe von Beleg-Sortierlesern, welche zuerst nur für Bankschecks, dann auch für andere ähnlich zu verbuchende Belege gebaut wurden.

Das Lesen von maschinengeschriebenen Ziffern wurde u. a. von Solartron 1958 vorgeführt, wobei die Zeichen durch einen Elektronenstrahl abgetastet, das Rasterbild von 28 × 16 Punkten zentriert, eingespeichert und logisch ausgewertet wurde. Leistung des ERA-Lesers war 300 Zch/s, wobei ein Registrierkassen-Streifen gelesen wurde.

Für die mehrfache Verarbeitung von Buchungsbelegen durch maschinelles Lesen ist allein zweckmäßig, eine dem freien Auge leicht erkennbare Ziffernform vorzusehen, die vom Aussteller mit allen bürogemäßen Druckmaschinen ausgebracht werden kann. In Sonderfällen ist es dagegen von Vorteil, wenn auch handschriftlich eingetragene Werte maschinell zu lesen sind, etwa bei Versorgungsunternehmen die zu notierenden Zählerstände oder bei Handelsunternehmen die Bestellungen von den Verkaufsfahrern. Trotz vieler Versuchsentwicklungen ist es noch nicht zu betriebsreifen Geräten zum Lesen von Handschrift gekommen. Hier sind daher — da es sich nur um einen betriebsinternen Vorgang der Datenerfassung und -auswertung handelt — solche Verfahren rationell, die nach Art der Zeichenlochkarte Strichmarken positionsgemäß auswerten (Abb. 14/9.1.5) oder einen Code statt Klarschrift-Ziffern erkennen. Es gibt dazu Lesemaschinen für Belege großen Formates mit Strichmarken und für Registrierkassenstreifen mit Codezeichen (Abb. 15/9.1.5). Neben den Zeichenlochkarten für von Hand aufzubringende Marken entstanden auch als Quittungskarten zu verwendende Karten (Abb. 16/9.1.5), welche durch einfache Adreßplattendrucker und Kassen mit Buchungs-Informationen zu versehen sind; die in Klar- und Codeziffern aufgedruckten Daten werden in Lese-Stanzern lichtelektrisch abgetastet und in die gleiche Karte gelocht. Auch die Firma IBM brachte ein Lesegerät auf den Markt, welches mit Schnelldruckern erstellte Lochkarten liest und die ausgedruckten Zahlen in die Karte stanzt.



Abb. 15/9.1.5
Lesemaschine für Registrierkassenstreifen SWEDA E–3 (1960); dabei Registrierstreifen in Strichcode ausgedruckt (Dual-Code mit Parity-Bit und Start-Marke). Ausgabe in Magnetband.

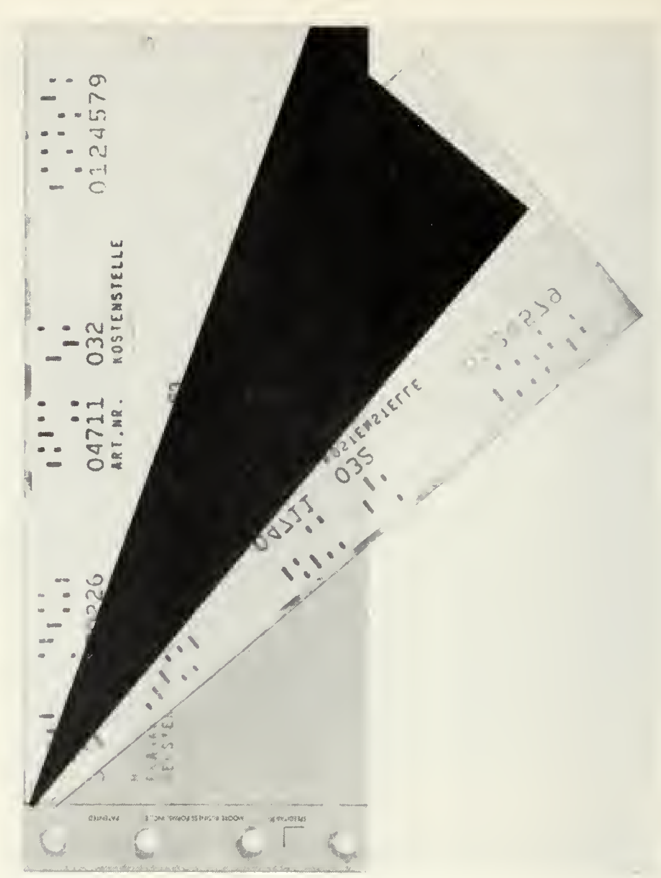


Abb. 16/9.1.5
Maschinenlesbarer Beleg mit eingedruckten Buchungsdaten in Klarschrift und in 5-Spur-Strichcode (1–2–4–7–Code mit Prüfbit). Der Code wird lichtelektrisch abgetastet und die Lochkarte gleichzeitig mit diesen Daten ausgestanzt. Der Beleg wird durch geprägte Ausweiskarten für variable Nummern (linkes Feld), geprägte Stationskarte für konstante Nummern (mittleres Feld) und durch verstellbare Schieber für variable Daten (rechtes Feld) bedruckt, statt des Strichcodes wird jetzt auch direkt Normschrift A (u. a. maschinenlesbare Ziffern) eingedruckt.

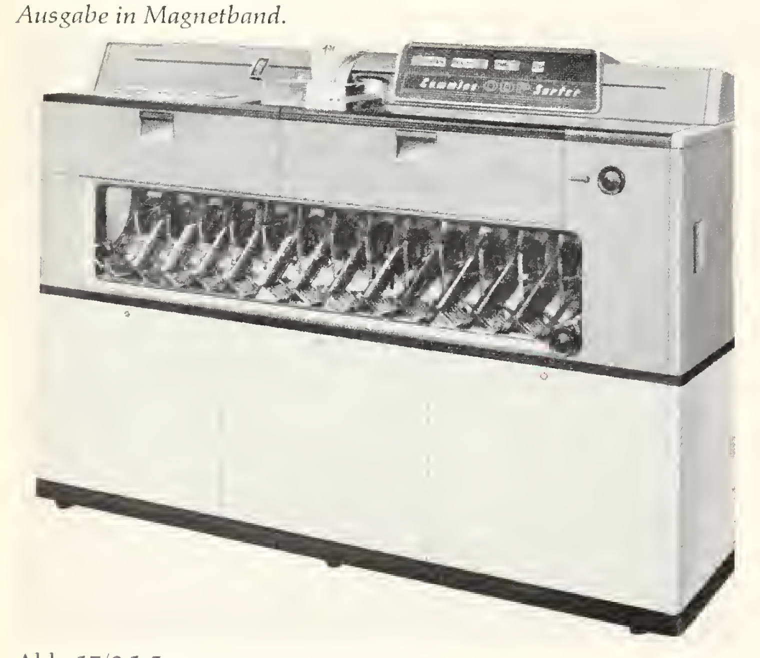


Abb. 17/9.1.5
Sortiermaschine für Belege mit Lochschrift nach Abb. 28/2.4 von Cummins-Chicago Corp.
Leistung ca. 36 000 Belege/Stunde. Sortiert in 13 Fächer nach einer von 20 in Lochschrift dargestellten Ziffern oder nach einer Spalte von insgesamt 80 Codespalten.
Die Belege können in der Größe zwischen 2,5 × 4 Zoll und 4 × 9 Zoll liegen.

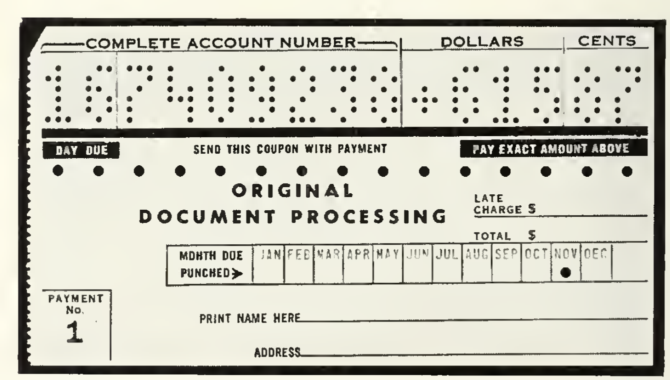


Abb. 18/9.1.5
Buchungsbeleg mit Lochschrift-Ziffern (Cummins-Chicago).

Diese Grundmaschine wird von SEL mit optischer Lesestation für Normschrift A ausgebaut und vermag auch Etiketten ab 3 × 10 cm zu verarbeiten.

Die Schriftarten für maschinelles Zeichenlesen

Nach vielen Versuchen, bestimmte Zeichensätze oder Zifferntypen lichtelektrisch zu lesen, indem deren Projektionsbild mit genau entsprechenden transparenten Masken verglichen wird und nur bei völliger Abdunklung des Strahlenganges eine Fotozelle die eine zugehörige Ausgangsleitung impulsiert — was sich jedoch als unzuverlässig erweisen mußte —, wurden ab 1950 nach dem Vorbild der Versuche von David H. Shepard (Intelligent Mach. Research Co.) logisch-digitale Auswertungsschaltungen im Verein mit speziell geformten Ziffern bevorzugt. 1955 begann die Fa. Farrington in den USA optische Leser zu bauen; in England entwickelte EMI die Zifferntype des „FRED"-Lesegerätes (Brit. Pat. 912.916 vom 18. 3. 59), bei dem ein 5-Bit-Code aus der Ziffernform beim Überstreichen mit einem senkrechten Lichtspalt abgeleitet wird. Andere Verfahren und Geräte werteten nicht die Ziffernform selbst, sondern einen getrennt und zusätzlich angebrachten Strichcode aus (IBM und Siemag, Abb. 19/9.1.5, Adressograph (Abb. 16/9.1.5) u. a.). In der Praxis der Beleg-Sortierleser (Abb. 22 bis 26/9.1.5) gibt es vor allem folgende Leseverfahren und Zeichenformen:

1. das analoge Auswerten des charakteristischen Spannungsverlaufes, der beim Abtasten von mit Ferritfarbe gedruckten und magnetisierbaren Ziffern mit einem Magnetkopf entsteht (Type E-13 B der ABA): dieses Erkennungsverfahren erwies sich als wenig günstig für die Lesesicherheit;
2. die logische Auswertung von in Speicherkern-Matrizen als Rasterbild eingespeicherten Zeichen bei magnetischen und optischen Lesern für die Zeichentypen E-13 B, IBM 407 und 1418, Farrington „Selfcheck" und bei vielen anderen Lesern;
3. das einfache Erkennen von Phasensprüngen bei aus 7 senkrechten Strichen aufgebauten Zeichen CMC-7 der Cie. des Machines BULL, wobei die Lage der zwei weiten Abstände aus sechs Strichabständen maßgeblich ist und für die Ziffern einen selbstprüfenden 2-aus-6-Code ergibt;
4. das lichtelektrische Lesen von leicht stilisierten Ziffern, deren senkrechte Strichelemente als Code ausgewertet werden, wie z. B. die NCR-Bicode- und SEL CZ-13-Ziffern sowie die von der ISO zur Normung vorgeschlagene OCR-A-Type, bei der auch einige waagrechte Strichelemente zur größeren Lesesicherheit herangezogen werden;
5. und schließlich die sehr viel aufwendigeren Schaltungen zum Erkennen der Zeichenform auch von beliebig geformten und handschriftlichen Schrifttypen. Diese müssen in irgendeiner Weise die Form des Zeichens unabhängig von Lage und Größe erkennen, beispielsweise indem es abgetastet und durch eine überlagerte Kreisbewegung des Tastflecks die Richtung des Strichelementes bei der Berührungsstelle bestimmt wird (IBM), oder auch, wie in 2., durch logisches Auswerten des aufgerasterten Zeichens in einer Matrix von z. B. 20 × 25 Bits (Farrington).

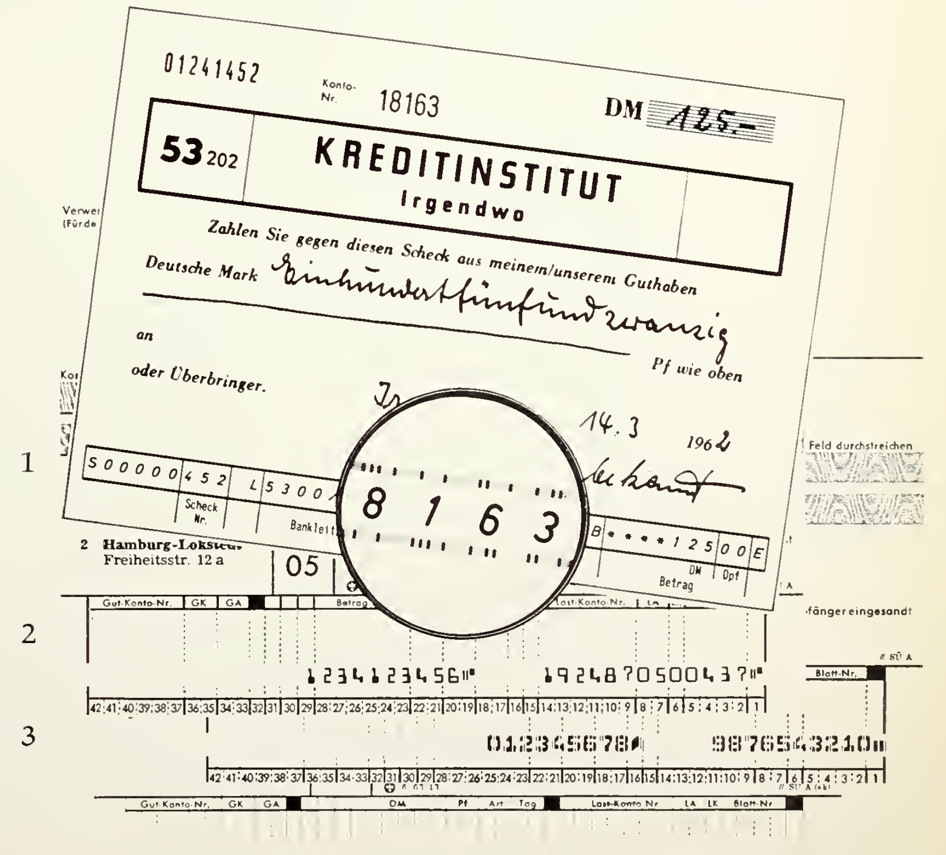


Abb. 19/9.1.5
Beispiele für maschinenlesbare Buchungsbelege mit den Zifferntypen
1. *Siemag*
   Ziffern mit Strichcode und Komplement
2. *E–13 B*
   der American Bankers Association
3. *CMC–7*
   der Cie. des Machines BULL
4. *CZ–13*
   der Standard Eectric Lorenz AG als Beispiel für mehrere ähnliche, leicht stilisierte optisch lesbare Zifferntypen
5. *Normschrift A nach DIN 66 008 nach ISO-Empfehlung international eingeführt*

1234567890H 12345678901234Y

Die vielen für das Auswerten beliebig geformter Zeichen erforderlichen logischen Auswerte-Schritte begrenzen die Lesegeschwindigkeit gegenüber dem Lesen stilisierter Ziffern mit „eingebautem Code" nach 3. und 4., der beim Abtasten ohne weiteres entsteht. Daher arbeiten die Leser für Klarschrift zumeist mit geringeren Leistungen von rd. 24 000 Belegen/Stunde, während die Leser für spezielle Schrifttypen — gleichgültig ob sie optisch oder magnetisch abtasten — Leistungen von fast 100 000 Belegen/Stunde erreichen.

Belegleser (mit 1—3 Ablagefächern) speichern die Informationen in EDV-Anlagen ein, Belegsortiermaschinen (mit 13 bis 18 Fächern) dienen zum OFF-LINE-Sortieren. Sortierleser können beides gleichzeitig.

Literatur: Broido (Brit. Tabulating Mach. Co.): Automatisches Lesen. Feinwerktechnik (März 1958) S. 81–86.
Fischer, Pollock, Radack und Stevens: Optical Character Recognition. Spartan Books, Washington, 1962.
Wimmers, W.: Datenverarbeitung im Einzelhandel. Betriebswirtschaftliche Beratungsstelle für den Einzelhandel, Köln 1966.
——: Proc. Intern. Conf. of Informat. Processing, UNESCO, Paris 1959, Oldenbourg und Butterworths, 1960.
——: Die lesende Maschine (von Tauschek): Zeitschr. f. Organisation 6 (1932), 9, S. 377–328.



Abb. 20/9.1.5
Zeichenleser SEL für Maschinenschrift-Ziffern für lichtelektrische Abtastung und Auswertung nach dem Sonden-Verfahren (1960).

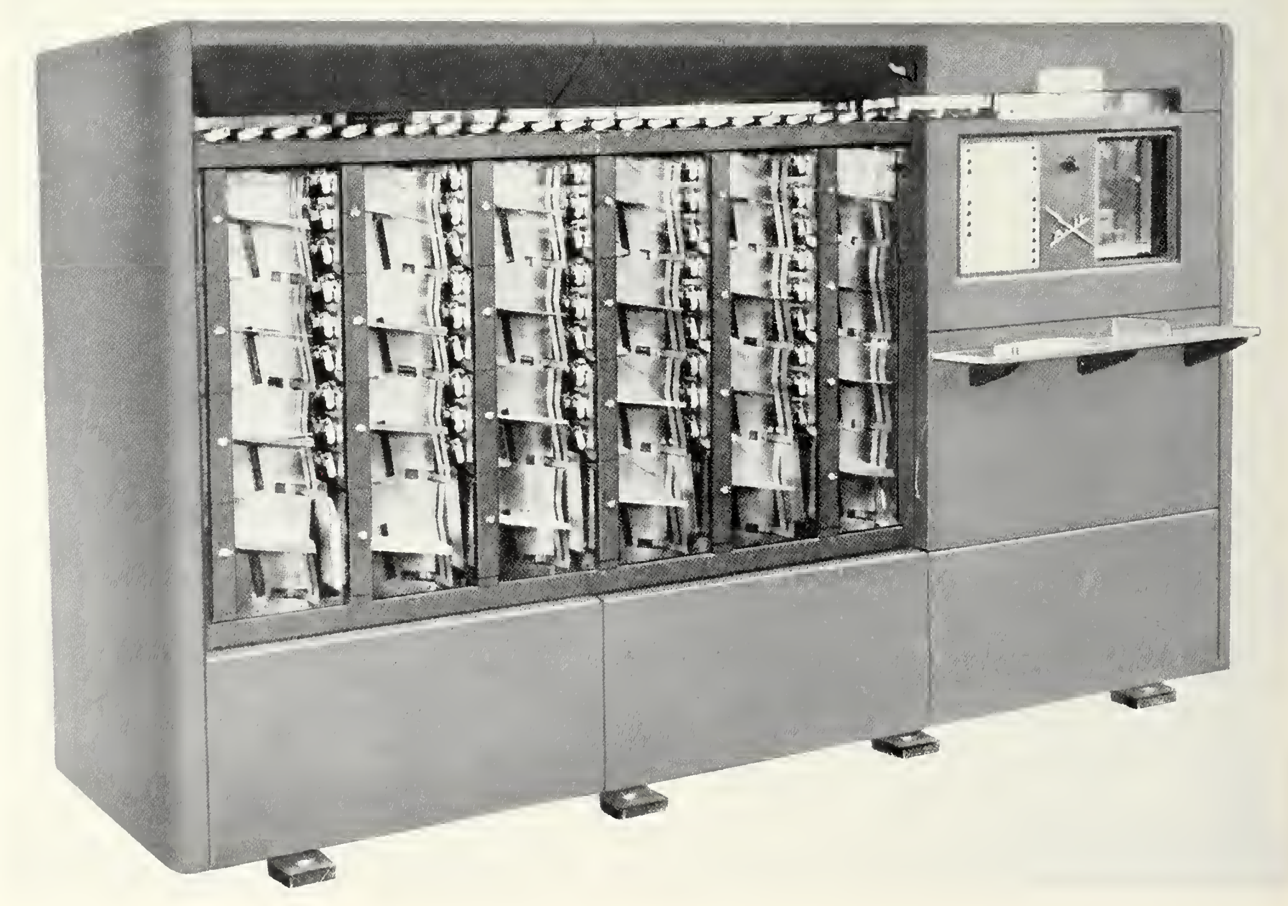


Abb. 21/9.1.5
Formular-Sortiermaschine BULL (1957)
Leseeinrichtung für magnetisierbare Codestriche auf der Rückseite der Scheckformulare (wie beim ERMA-System).

(BULL-Inf. 6 (Mai 1957) S. 25–26)

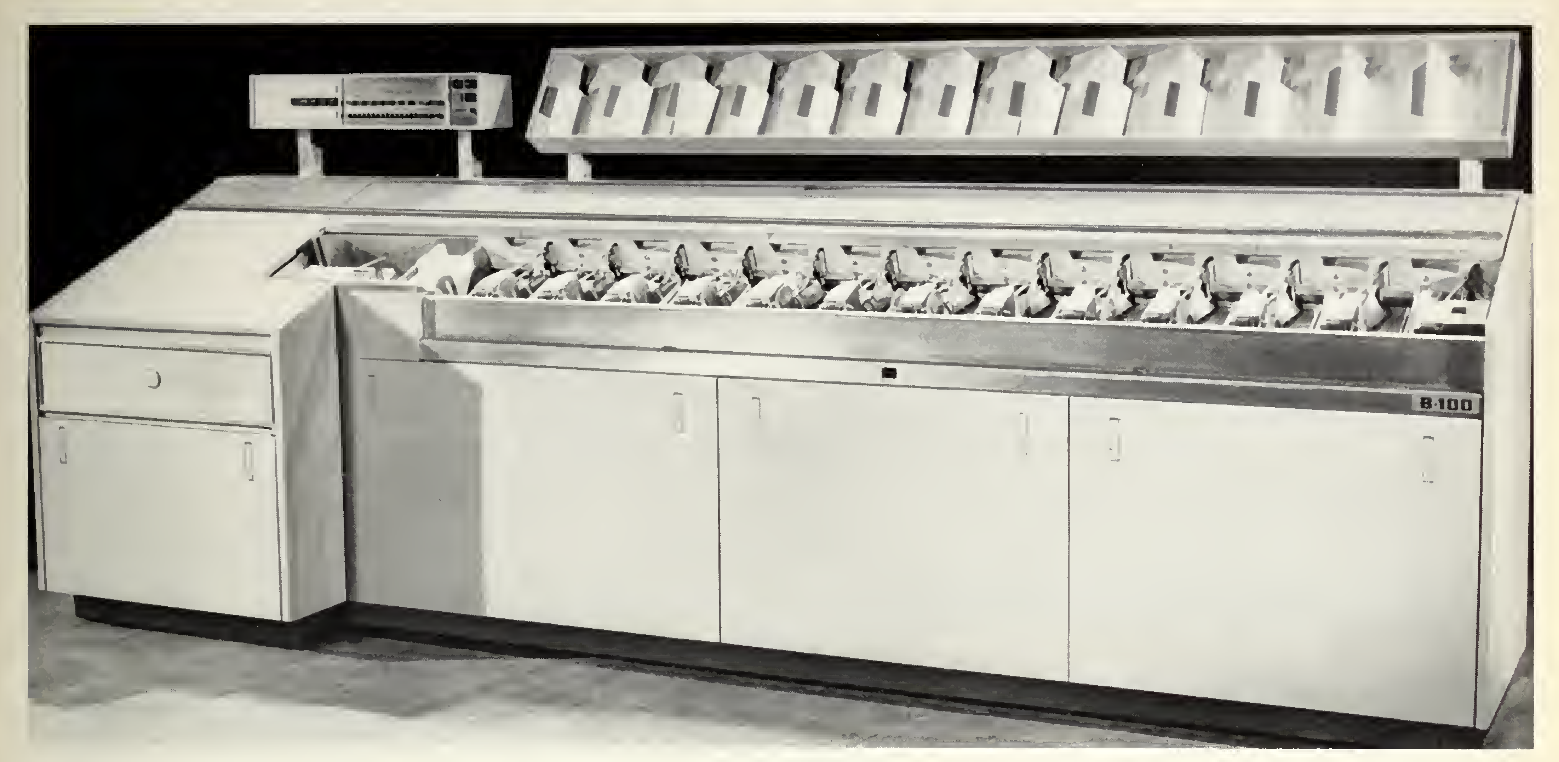


Abb. 22/9.1.5
Scheck-Sortierleser Burroughs B 101.
Sortierleistung 90 000 Belege/Stunde, Abzug und Vereinzelung mit Friktion, magnetisches Abtasten der E–13 B Ziffern nach analogem Leseverfahren, 13 Sortierfächer.

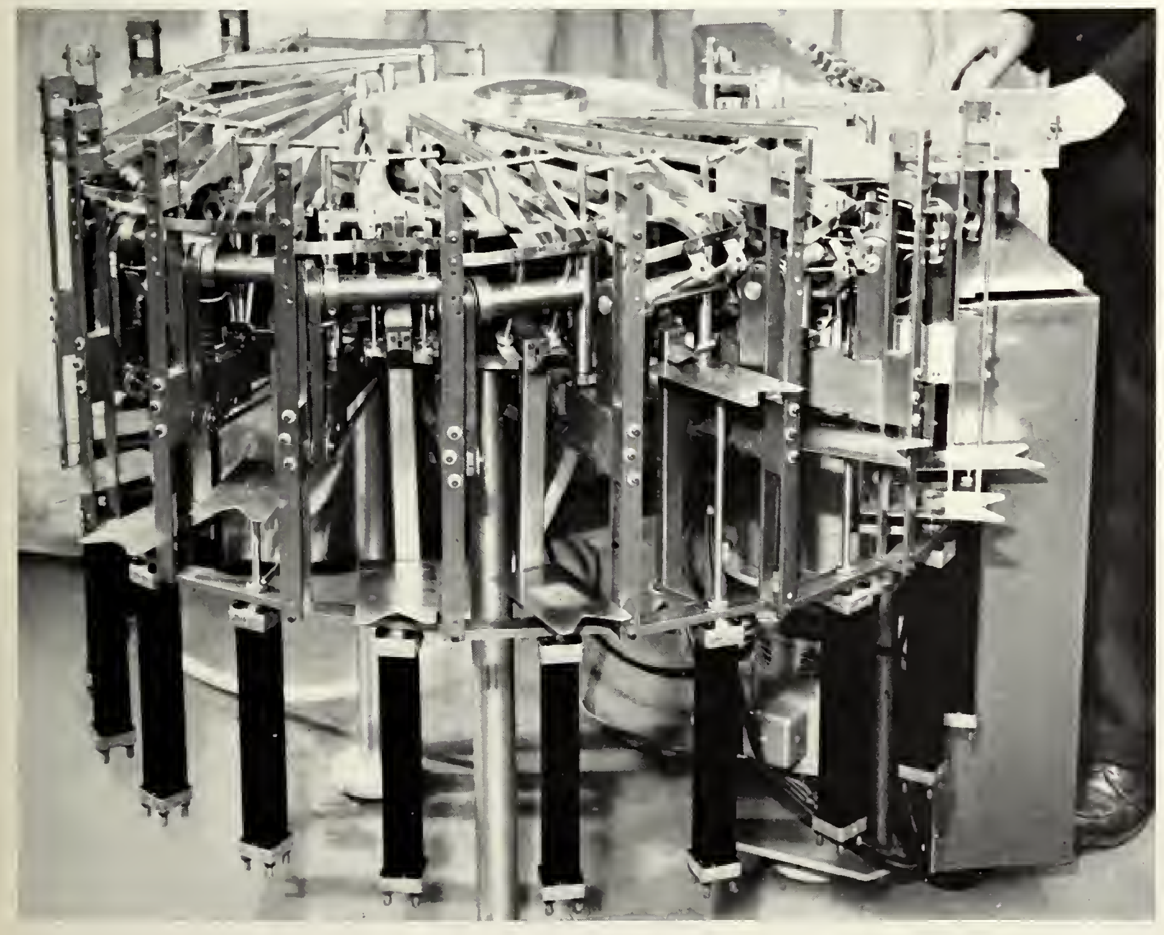


Abb. 23/9.1.5
Versuchsaufbau eines Scheck-Sortierlesers mit zentraler Saugtrommel und pneumatischer Arbeitsweise (Crosfield Electronics Ltd. London)

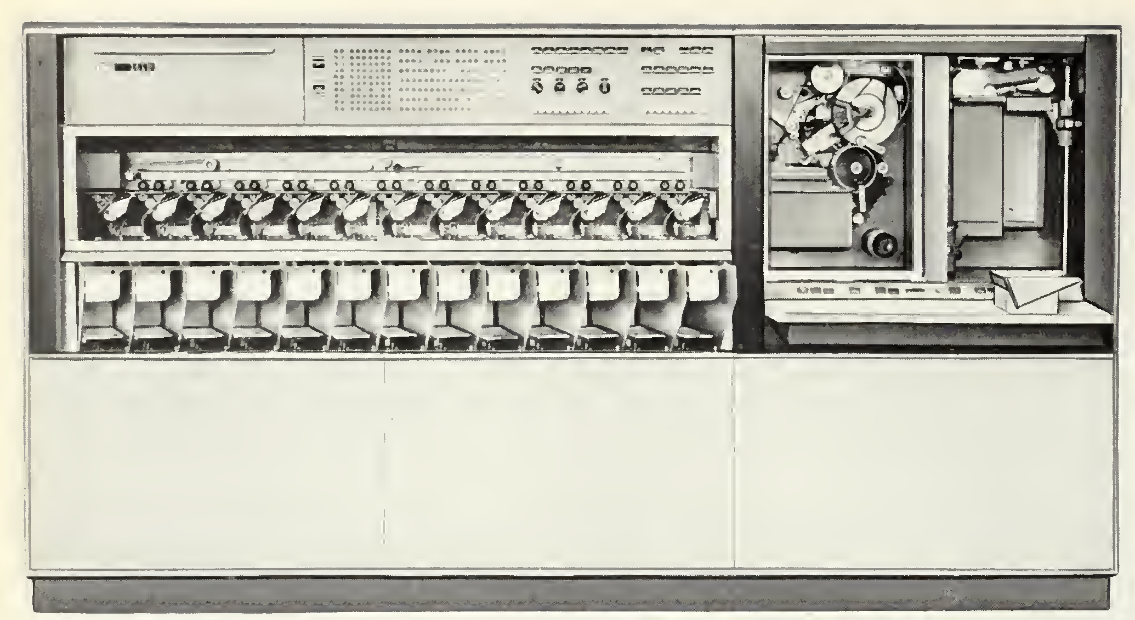


Abb. 24/9.1.5
Magnetschrift-Sortierleser IBM 1412 (950 B/min)

Von ähnlichem Aufbau sind auch die Sortierleser
IBM 1419 für Magnetschrift (1600 B/min)
IBM 1418 für opt. Lesen (num.) (420 B/min)
IBM 1428 für opt. Lesen (alpha) (400 B/min)
IBM 3951 für Normschrift OCR–A (1600 B/min)

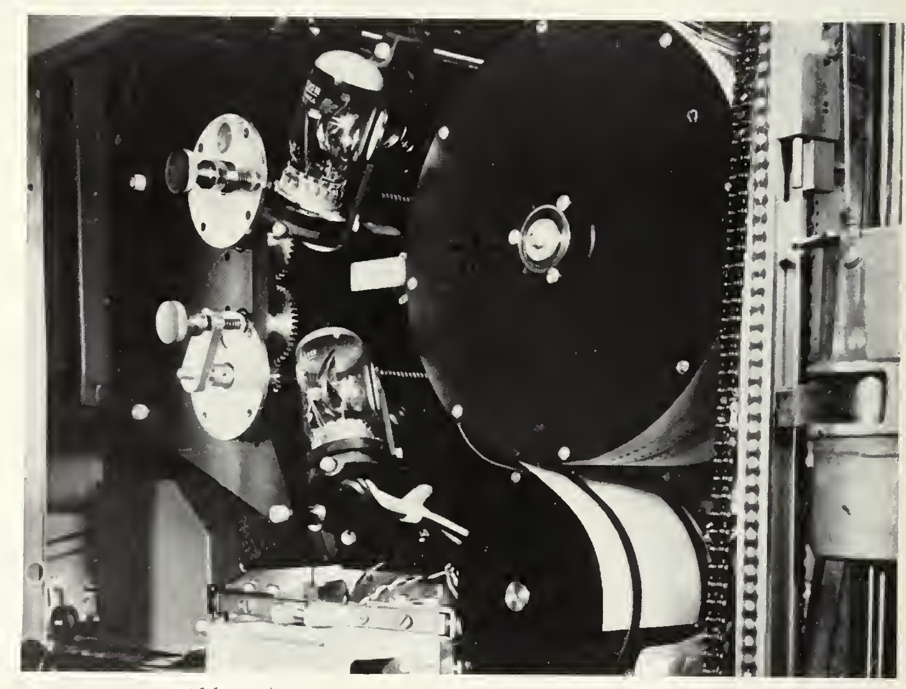


Abb. 25/9.1.5
Lesestation des lichtelektrischen Klarschrift-Sortierlesers IBM 1418. Man erkennt die große, den Beleg führende Trommel, die beiden durch Handkurbeln auf die gewünschte Lesezeile verstellbaren Leseoptiken mit Projektionslampen und die Umlenkung des Beleges nach links zur Weichen-Einheit.

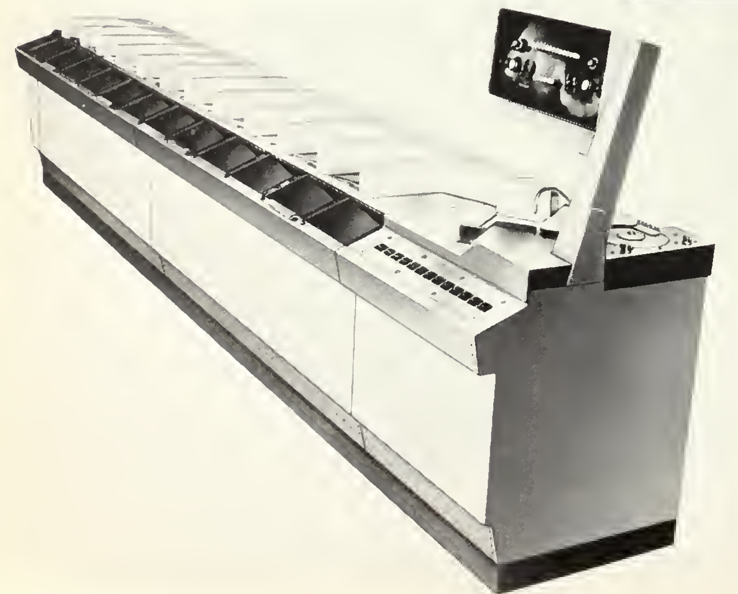


Abb. 26/9.1.5
Scheck-Lese- und Sortiermaschine NCR 402 von Pitney-Bowes Div. of Remington Rand.
Sortierleistung 750 Belege/min; ab 1963 Modell 403: 1650 Belege/min; pneumatische Arbeitsweise und magnetische Abtastung; von SEL auch für lichtelektrisches Lesen der CZ-13-Ziffern ausgebaut. (National Cash Register)

9.2.1 Sichtanzeige durch Lampenfelder, Oszillographen, Kathodenstrahlröhren und Ziffernanzeigeröhren oder -geräte

Bei den ersten elektromechanischen Rechnern und Lochkartenmaschinen dienten die dezimalen Zählwerke auch zur Anzeige der Zwischen-Ergebnisse im Ablauf der Rechnung.

Bei elektronischen Anlagen müssen die binären Inhalte der Speicherzellen und Akkumulatoren elektrisch angezeigt werden, um bei jedem einzelnen Programmschritt die Rechnung nachprüfen zu können. Hierzu wurden zuerst und werden bis heute Lampenleisten und -felder am Steuerpult vorgesehen, die entweder den dualen oder den dezimalen entschlüsselten Register-Inhalt anzeigen. Oftmals ist es durch Leucht-Drucktasten möglich, an gleicher Stelle die Speicherdaten einzugeben oder zu verändern (Abb. 27/9.2.1).

Rechner mit dynamischen Speichern, also Quecksilber- oder Nickeldraht-Verzögerungsstrecken, zeigen einfacherweise direkt den Impuls-Inhalt der Schnellspeicher mit Oszillographenröhren an (Abb. 28/9.2.1).

Angenehmer abzulesen sind Anzeigeleisten mit Ziffernröhren (ab 1957), wie sie auch die elektronische Tischrechenmaschine ANITA (Abb. 43/1.2) hat, oder mit großen Schauziffern (Abb. 29/9.2.1). STC zeigte 1958 ein Gerät zur Anzeige einer Zeile von bis zu 16 Zeichen (auch Buchstaben) in einem 5 × 7-Leuchtpunktraster nach Art einer Laufschrift mit Lochstreifen-Steuerung.

Kathodenstrahl-Anzeige für 4 Zahlen (entsprechend den 4 Laufzeitspeichern) besitzt auch die elektronische Tischrechenmaschine FRIDEN 130 (Abb. 30/9.2.1).

9.2.2 Lochstreifenstanzer

Die historische Entwicklung der Lochstreifengeräte samt Streifenlocher und -leser wurde in Teil 2 und 3 dargestellt. Der Lochstreifen als sicherer und preiswerter, dazu schnell abzutastender Datenträger ist von Anfang an als Eingabe- und Ausgabemedium bevorzugt worden außer bei den Anlagen, welche für kaufmännische Aufgaben ohnehin auf die sortierbare Lochkarte angewiesen waren.

Das Ausstanzen von Lochstreifen mit normalen Fernschreibgeräten, die auf eine Geschwindigkeit von 7 Zch/s begrenzt sind, erwies sich bald als zu langsam; schnellere Stanzer wurden zu entwickeln versucht. Eine Leistung von 40 Zch/s wurde noch mit einigermaßen üblichen Konstruktionen möglich, 120—150 Zch/s erwies sich als obere Grenze dessen, was mit elektromagnetisch betätigten oder gesteuerten Stanzstempeln für zuverlässigen Dauerbetrieb in kleinen Geräten erreichbar ist. Die schnellen Stanzmaschinen, die bis zu 300 Zch/s leisten (Abb. 32/9.2.2), müssen mit erheblichem mechanischem Aufwand gebaut und wegen der Lärmerzeugung abgeschirmt und in ein Ölbad eingesetzt werden; die Stanzstempel und Lochplatten haben trotz bester Materialauswahl natürlich zwar hohe Lochleistung, aber eine zeitlich geringe Lebensdauer.

Praktische Bedeutung hat das Stanzen von Ergebnis-Lochstreifen nur noch in den Fällen, wo dieser für nachfolgende, unabhängige Arbeitsvorgänge wie beispielsweise zur Steuerung von Werkzeugmaschinen oder von Lager-Entnahmen mittels selbstfahrenden Elektrokarren und dgl. gebraucht wird.

Wesentlich höhere Leistung läßt sich erreichen, wenn der Streifen nicht gelocht, sondern mit dem Code bedruckt wird — wodurch er ja lichtelektrisch lesbar bleibt. Omni-Data entwickelte 1961 einen xerographischen Streifen-Codedrucker mit Leistungen von 600 bis 2000 Zch/s *(Lit: —: Electrostatic Recording. Control Engng., Oktober 1961, S. 128).*



Abb. 27/9.2.1
Lampenfeld am Bedienungspult zur Überwachung des Programmablaufs beim Rechner SSEC von IBM
(siehe Abb. 5–8/6.1) (Jan. 1948).



Abb. 28/9.2.1
Steuerpult des Manchester-Computers mit Anzeige der Codezeichen der Zähler-Inhalte mittels Kathodenstrahl-Bildröhren (Werkbild I. C. T.)

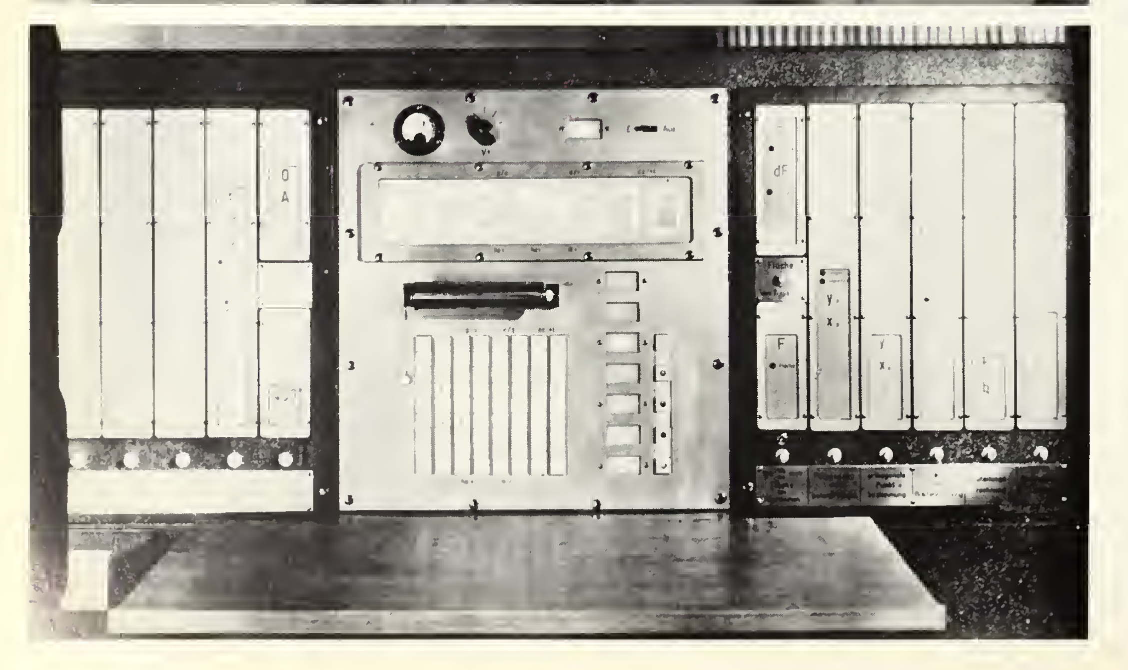


Abb. 29/9.2.1
Direkte Anzeige mit Dezimalziffern als Leuchttablo beim Spezial-Relaisrechner SM 1 (München)
(siehe Abb. 20/5.4.6).

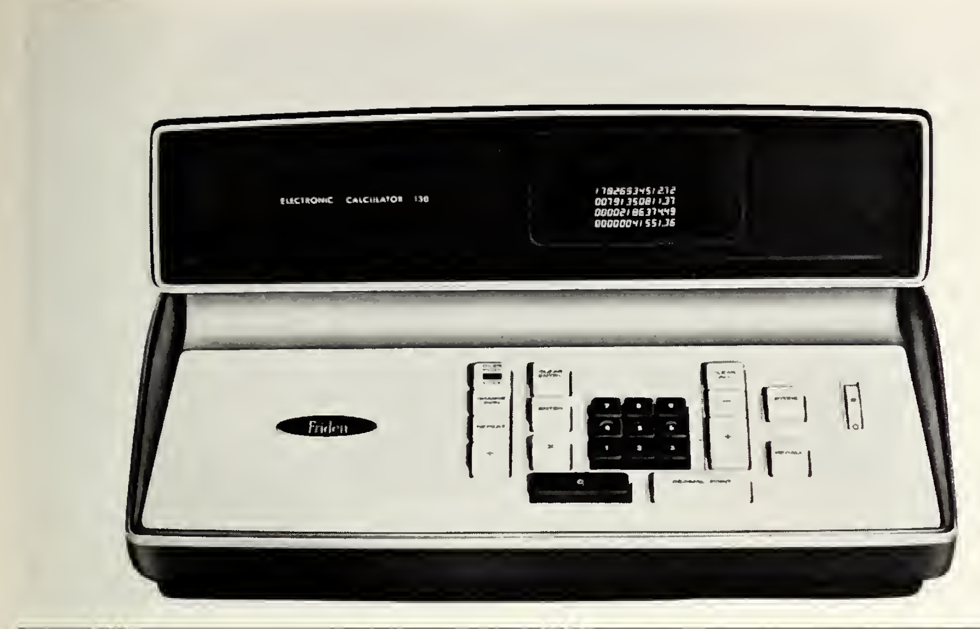


Abb. 30/9.2.1
Ziffernanzeige mit Kathodenstrahlröhre für 4 eingetastete Faktoren bzw. Ergebniszahlen entsprechend den 4 Ultraschall-Verzögerungsspeichern in der Tischrechenmaschine FRIDEN 130 (1964).

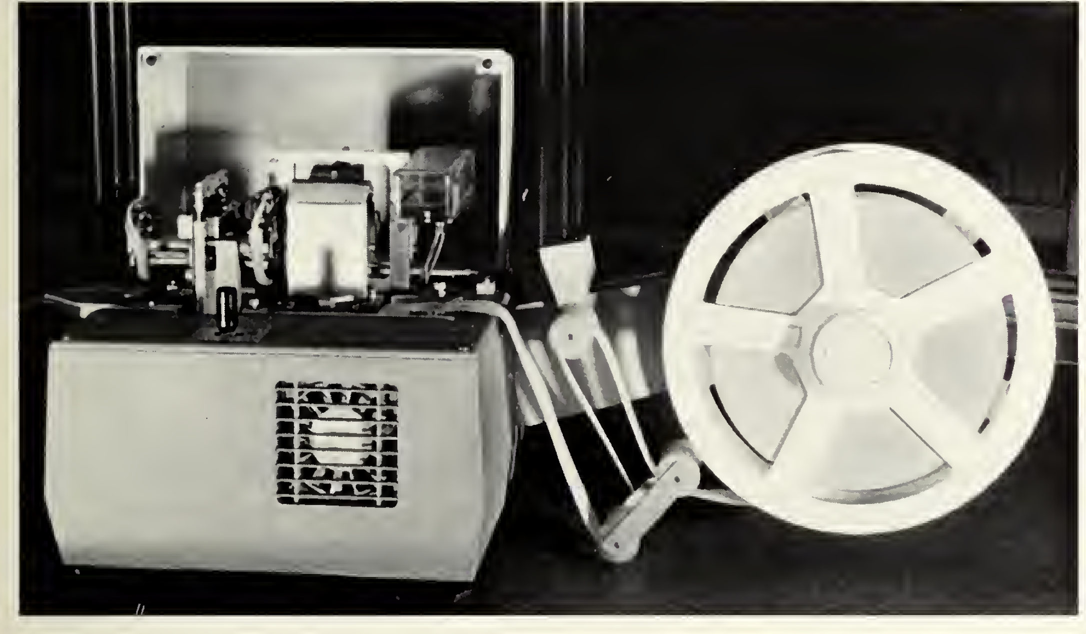


Abb. 31/9.2.2
Schneller Lochstreifen-Stanzer (Haube geöffnet) (Facit)

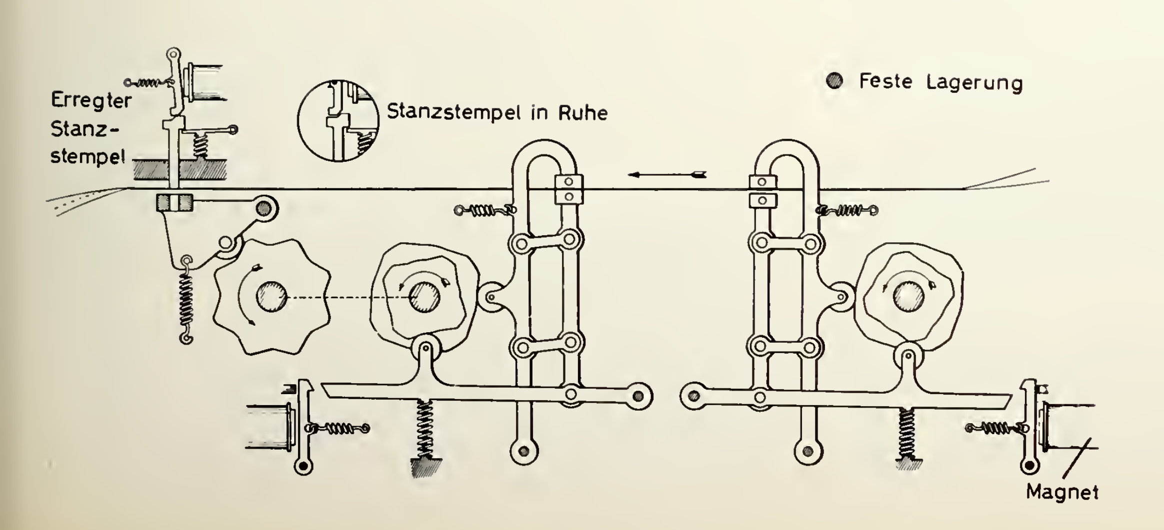


Abb. 32/9.2.2
Schematische Darstellung der Arbeitsweise des Lochstreifen-Schnellstanzers Creed 3000 (1961).
Leistung 300 Zch/s. Streifenvorschub durch wechselweise klemmende Zangen, Stanzung durch eine gegen magnetisch-verschobene Stempel angehobene Lochplatte.

9.2.3 Lochkartenstanzer

Die Ausgabe von Ergebnissen in Lochkartenform hat nur im Rahmen einer geschlossenen Lochkarten-Organisation Bedeutung, da die anderen Datenträger, vor allem das Magnetband, im allgemeinen zweckmäßiger sind. Als Lochkartenstanzer wurden daher keine Sondergeräte für die elektronische Rechentechnik entwickelt; die normalen Stanzer wurden bereits in 2.2 besprochen, ebenso die Fortentwicklung zu den Lochkartenrechnern, welche z. T. als OFF-LINE-Anlagen zur Ausgabe der mit schnellen Elektronenrechnern gewonnenen und auf Magnetband gespeicherten Ergebnisse eingesetzt werden (siehe Abb. 6/6.1). Die Stanzleistungen liegen normal um 100 Karten/min, maximal um 400 Karten/min; bei spaltenweisem Stanzen ist die Leistung von der Wortlänge je Karte abhängig.



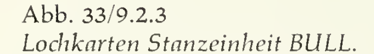


Abb. 33/9.2.3
Lochkarten Stanzeinheit BULL.

9.2.4 Druckwerke

In den meisten Fällen ist die elektronische Datenverarbeitung bei der Ausgabe der Ergebnisse ebenso auf den Menschen bezogen wie bei der Eingabe; sie sollen in zweckmäßiger Anordnung und möglichst komprimiert so ausgelistet, ausgedruckt werden, daß sie mit geringer Mühe verständlich werden. Dem Druckbild und der Aufgliederung der Ergebnisse im manchmal mit Vordruck versehenen Druckpapier wird daher größte Beachtung zugewendet; diese psychologischen und ästhetischen Werte eines guten Drucks stehen leider in Widerspruch zu der Forderung nach schnellster Druckgeschwindigkeit, wie sie der hohen Leistung elektronischer Rechenanlagen entspricht.

Nach der Arbeitsweise des Druckers unterscheidet man:

1. Einzelzeichendrucker, die Zeichen für Zeichen nacheinander in eine Zeile aufbringen; es sind dies
   elektrisch angesteuerte Schreibmaschinen und Fernschreib-Blattschreiber, vor allem mit üblichen Typenhebeln;
   schnellere mechanische Seriendruckwerke mit Typenrädern oder Rasterdrucker mit Zeichendarstellung als Punktmatrix;
   nichtmechanische, beispielsweise elektrochemische oder elektrostatische Drucker.

2. Blockdruckwerke, die eine ganze Zahl von rd. 12 Stellen auf einen Schlag in die Zeile drucken; sie sind vorwiegend bei Saldier- und Buchungsmaschinen vorgesehen und in der Lochkartentechnik bei den Tabelliermaschinen.

3. Zeilendrucker, oder Schnelldrucker genannt, die grundsätzlich eine ganze Zeile beinahe gleichzeitig ausdrucken. Als Typenträger bei mechanischen Druckern dieser Art dienen vorwiegend:
   eine umlaufende Typentrommel,
   eine in Zeilenrichtung umlaufende endlose Typenkette oder oszillierende Typenstange,
   bei Sonderbauarten oszillierende Druckdraht-Matrizen u. a.

4. Nichtmechanische Schnelldrucker, bei denen sich das elektrostatische Verfahren nach einigen anderen Versuchen in den Vordergrund geschoben hat.

5. Die fotographische Aufnahme der in Kathodenstrahlröhren angezeigten Ergebnisse war von Anfang an und ist noch weiterhin von Interesse, da die Leistung selbst der schnellsten Druckwerke noch sehr viel niedriger ist als die der Rechenanlagen selbst.

9.2.4.1 Einzelzeichendrucker

Elektromagnetisch betätigte mechanische Schreibmaschinen und Fernschreib-Blattschreiber als Ausgabegeräte.

Die Schreibmaschinen mit elektrischem Antrieb ermöglichen durch den geringen Hub und Druck ihrer Tasten, diese durch aufgesetzte oder von unten ziehende Elektromagnete impulsgesteuert betätigen zu lassen. Damit ergeben sich Schreibautomaten und Ausgabe-Schreibmaschinen, die auch bei Rechenanlagen — nach Codeumsetzung — zum Auslisten von Ergebnissen zweckmäßig einzusetzen waren (s. Abb. 17/6.1 BINAC). Eine große Zahl von Kleinrechnern (s. Abb. 40/6.1) war und ist mit Schreibmaschinen als einzigem Ein- und Ausgabegerät ausgerüstet, und bei großen Anlagen dient sie in zunehmendem Maße als Steuerpult-Maschine, weil das automatische Ausschreiben eines Protokollblattes jeden einzelnen Eingriff in den Arbeitsablauf und jede gewünschte Auskunft sicher und bleibend registriert (Abb. 35/9.2.4.1).

Neben den Schreibmaschinen mit üblichem Typenhebel-Anschlag, der auch bei getaktetem Schreiben wie bei den Blattschreibern keine höhere Leistung als 12—15 Zch/s zuläßt, weil die Typenhebel nicht schnell genug zurückgezogen werden können und daher aufeinander schlagen, wurde seit längerem zuerst bei Blattschreibern (Creed), dann auch bei elektrischen Schreibmaschinen (IBM 72, 1961) der an sich längst bekannte Druckkopf eingebaut. Dieser ist entweder wie etwa bei der alten Mignon-Schreibmaschine oder beim Creed-Blattschreiber (Abb. 37/9.2.4.1) als kleine Walze ausgebildet, oder wie bei der IBM 72 als Kugel geformt; er kann selbst an das Papier anschlagen, während er in Zeilenrichtung über das feststehende Papier wandert. Bei manchen Schreibmaschinen wird dagegen das Papier an den Typenkopf angeschlagen, welcher als Rad ausgebildet ist, wie schon bei der alten Hammond-Schreibmaschine oder dem neuen IBM Inscriber 1206 zum Scheckbeschriften, oder als Walze bzw. Achteck, wie bei dem Schreibwerk der IBM 305 Ramac (40 Zch/s, Abb. 38/9.2.4.1), oder als Typenblock, wie bei der Steuerpult-Schreibmaschine der UNIVAC III. Diese Bauweise verhindert absolut ein Verheddern einzelner Typenhebel und erlaubt damit schnelleren Arbeitstakt von über 20 Zch/s.

Der Vorteil des wandernden Typenkorbes (Teletype- und Lorenz-Blattschreiber) oder Typenkopfes liegt darin, daß die feststehende Druckwalze für die Verwendung von Endlos-Formblättern geeigneter ist als der verschiebliche Schreibwagen üblicher Schreibmaschinen.

Fernschreib-Blattschreiber (siehe 3.1) dienten seit Beginn der Rechner-Entwicklung bevorzugt als Ausgabegeräte (siehe Abb. 59/6.3 und 66/6.3), weil sie betriebsreife und überaus zuverlässige impulsgesteuerte Drucker waren; noch heute dienen sie in speziellen Ausführungen, mit Ziffern-Sicherungscode oder mit den Sonderzeichen für Programmierung versehen, zum Erstellen von Programmlisten und -lochstreifen und zum Ausdrucken von Ergebnissen, wenn keine höhere Leistung als die damit erreichbaren 7—12 Zch/s verlangt wird.

Schnellere mechanische Seriendruckwerke

Höhere Schreibleistung ist nur mit anderen Konstruktionsprinzipien zu erreichen; die bewegten Massen sind drastisch zu verringern. Bei den Draht-Druckern werden nur kleine Stifte entweder direkt angeschlagen oder nur vorgeschoben und dann insgesamt angedrückt; sie werden direkt von Magneten (Brit. Hollerith, 1958 als Versuchsmodell, 160 Zch/s) oder über flexible Druckdrähte von mechanischen Codeumsetzern aus (IBM-Drahtdrucker im Lochschrift-Übersetzer) oder auch ölhydraulisch betätigt (Creed-Drucker Modell 1000, 1958, 100 Zch/s, Abb. 39/9.2.4.1). Dabei wird von den Spitzen der Druckdrähte jeweils eine Spalte von meist sieben oder eine ganze Matrix von 5×7 Rasterpunkten ausgedruckt, wobei durch Auswahl der Druckpunkte recht deutlich lesbare Zeichen gebildet werden können.

1963 führte die Fa. Teletype (Kleinschmidt Div. of Smith Corona Marchant Inc.) eine schnelle Schreibmaschine Mod. 311 mit einem in Zeilenrichtung laufenden Magnethämmerchen vor, welches wie bei den Schnelldruckern das Papier im richtigen Augenblick gegen eine ständig umlaufende Typenwalze mit 64 Typen anschlägt. Diese Konstruktion ist speziell als Ausgabedrucker entwickelt und kann jedoch auch mit einer Tastatur ausgerüstet und als handbetätigte Schreibmaschine benutzt werden.



Abb. 34/9.2.4.1
Empfangs-Blattschreiber des Ferndrucker-Systems mit Schriftalphabet von C. Lorenz AG, Berlin um 1905.
Als Typenträger dient ein in Zeilenrichtung wanderndes Ziffernrad, das in die jeweilige Druckstellung gedreht und an das feststehende Papier angeschlagen wird.
(aus SEG-Nach. 1955, Heft 3, S. 126)



Abb. 35/9.2.4.1
Steuerpult IBM 1415 mit elektromagnetisch angesteuerter Kugelkopf-Schreibmaschine IBM 72.

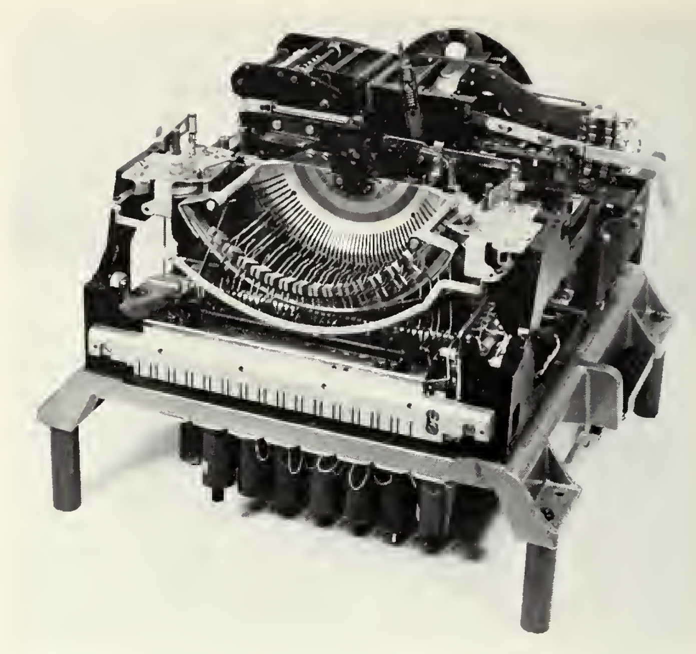


Abb. 36/9.2.4.1
Schreibmaschinen-Ausgabedrucker SIEMAG ohne Papierwagen und Verkleidung. Unten die Elektromagnete zur Betätigung der Typenhebel, hinten Kontaktbrücke zur Ausgabe-Steuerung nach Wagenpositionen.

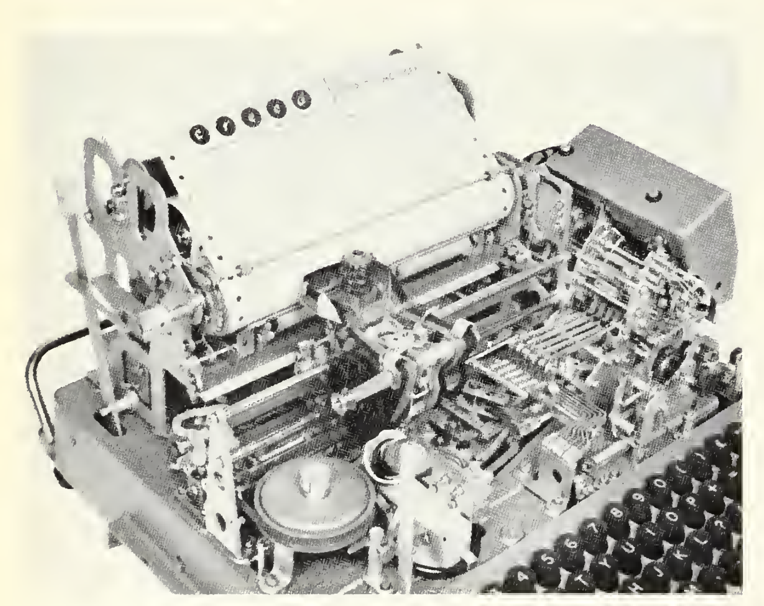


Abb. 37/9.2.4.1
Blattschreiber Creed 75 mit Druckkopf
(aus Creed News 50, Golden Jubilee Issue, 1962)

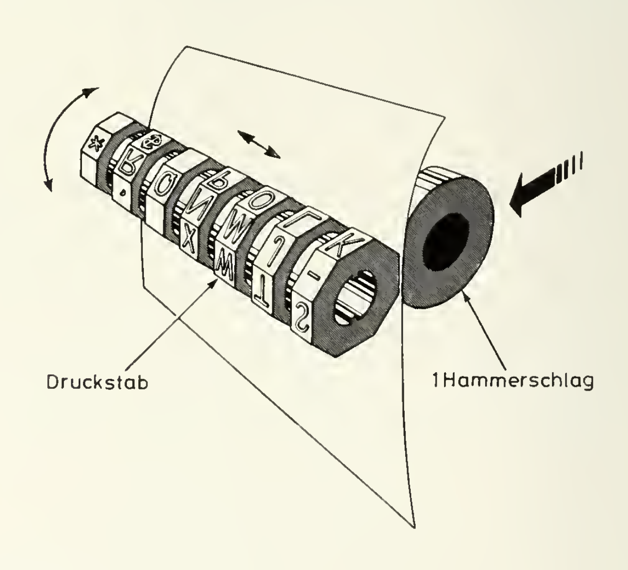


Abb. 38/9.2.4.1
Druckelement des Schnell-Einzelzeichendruckers bei der IBM 305 (schematische Darstellung).
Entsprechend dem Lochkarten-Code werden von den Überlochungen zwei benachbarte von den 8 Typenflächen eingestellt und danach durch die Ziffernlochung das definierte Zeichen mittels kombinierter Hin- und Herdrehung und Verschiebung des Zylinders in einem Zickzack-Weg innerhalb der beiden Typenflächen eingestellt. Das Hartgummi-Hämmerchen schlägt dann von hinten Papier und Farbband (3,5 mm breit) an die Type an.
Leistung etwa 40 Zch/s.
Die Übertragung der Einstellbewegungen von Relais-gesteuerten Magneten auf das in Zeilenrichtung wandernde Druckelement erfolgt durch Stahlbänder, die auch die Summation der binären Einstellwegelemente übernehmen.

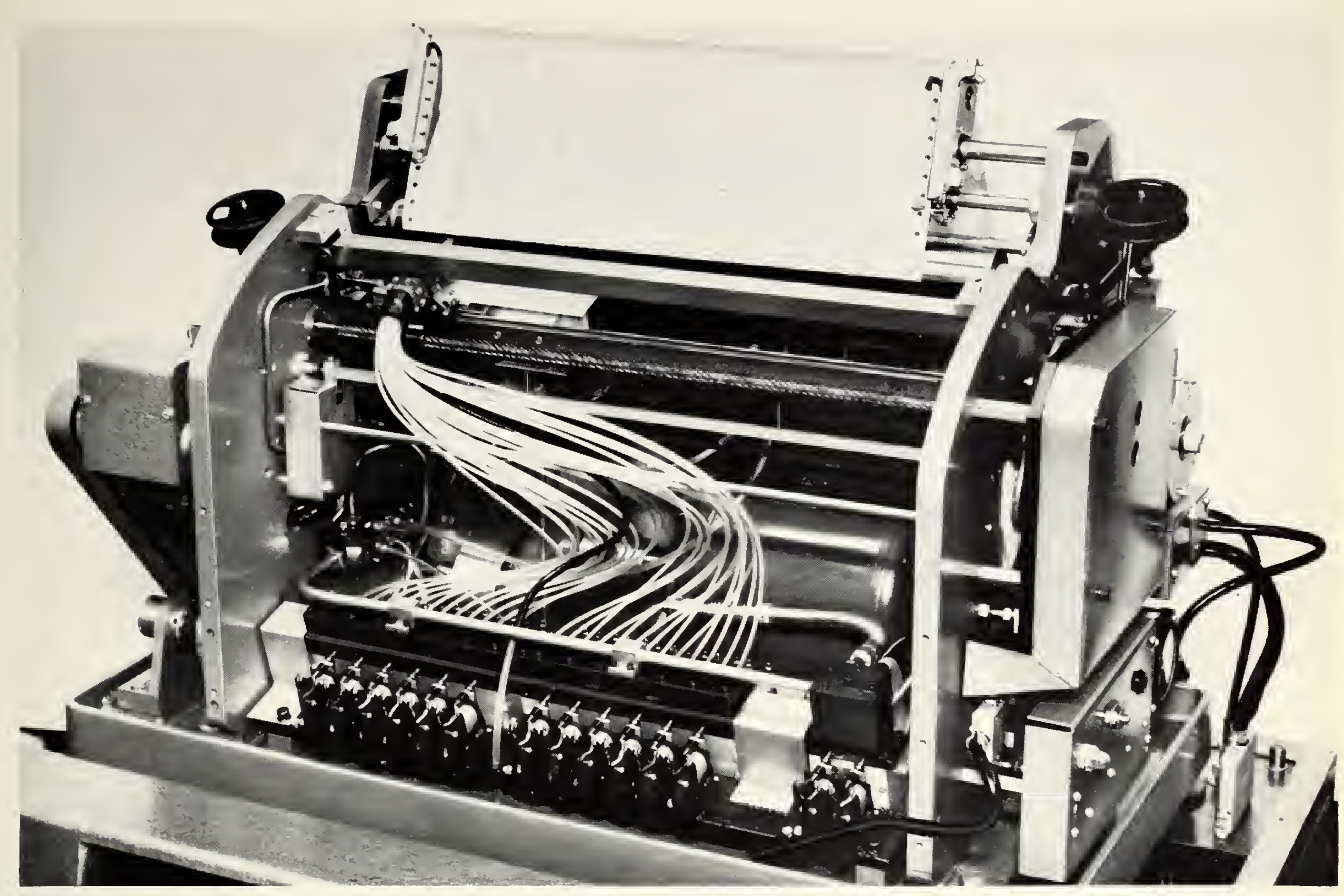


Abb. 39/9.2.4.1
Matrix-Einzelzeichendrucker Creed Modell 1000.
Der Druckkopf wird in Zeilenrichtung geführt und druckt in jeder Druckstelle das gewünschte alphanumerische Zeichen als Punktraster einer 5 × 5-Matrix. Die Stempelstiftchen im Druckkopf werden ölhydraulisch über die flexiblen Schläuche betätigt; die Steuerventile der Ölleitungen werden elektromagnetisch geöffnet. Bei kurzen Zeilen ist die Schreibleistung von 100 Zch/s vergleichbar mit der von Zeilen-Schnelldruckern, doch werden wegen des seriellen Ausdruckens die Speicher für den Zeileninhalt erspart. (DBPat. 1155 275 43 a 41/03 von 13. 10. 61, brit. Priorität vom 18. 10. 60, Ser. No. 35 672).

Nichtmechanische Seriendruckwerke

Wesentlich höhere Ausgabegeschwindigkeiten erreichen neuere Konstruktionen nach elektrochemischem Arbeitsprinzip, wie der „Tellur-Blattschreiber" der SEL, der ab 1958 entwickelt und 1964 auf den Markt gebracht wurde. Hier überstreichen sieben in einer Spalte angeordnete Elektroden das leicht angefeuchtete Papier über einer Tellur-Gegenelektrode als Papierwalze; bei Stromdurchgang färben sich die impulsierten Punkte auf elektrolytischem Wege. Durch zwei gegenläufig in Zeilenrichtung über das Papier geführte Schreibelektroden wird der Zeitverlust für den Rücklauf unwirksam und eine Schreibleistung von 2000 Zch/s erreicht. Die Tellurwalze nutzt sich nur langsam ab, und an das Papier werden keine speziellen Anforderungen gestellt. Insofern ist dieses Verfahren günstiger als ein mit relativ teurem elektrosensitivem ("Teledeltos-")Papier arbeitendes Schreibsystem wie der Drucker TP 3000 von Motorola Ind. (1962), der ebenfalls Zeichen in 5 × 7-Punkt-Raster mit 3000 Wörter/min schreibt.

9.2.4.2 *Blockdruckwerke*

Kennzeichnend für Blockdruckwerke ist, daß in jeder Stelle ein einstellbarer Typenträger in die gewünschte Druckposition gebracht und danach alle gemeinsam gleichzeitig zum Abdruck angeschlagen werden. Da die Typenträger als Stangen, Kreissegmente oder Räder nur einen begrenzten Raum zur Aufnahme von Typen bieten, und der Einstellweg ebenfalls begrenzt ist, sind die Blockdruckwerke vornehmlich auf das Drucken von Ziffern beschränkt und durchweg nur von geringer Geschwindigkeit (rd. 2 Drucke/s). Sie werden bei Saldier-, Buchungs- und Tabelliermaschinen (Abb. 40/9.2.4.2) eingebaut, in den ersteren Maschinen meist auf rd. 12 Stellen ausgebaut und nur bei Tabelliermaschinen für wesentlich längere Zeilen, aber auch dann konstruktiv meist in einzelne Zähl- und Druckwerke von rd. 12 Stellen aufgeteilt, vorgesehen. Die Positionierung des Typenträgers erfolgt mechanisch oder mittels Magneten (Abb. 41/9.2.4.2), bei alphanumerischem Druck durch Überlagerung der durch die Überlochzone bestimmten Gruppe von Zeichenpositionen mit den 10 normalen Ziffernpositionen.

9.2.4.3 *Schnell- oder Zeilendrucker*

Seit etwa 1953 wurden als schnelle Druckwerke die Zeilendrucker entwickelt; Remington lieferte 1954 das erste Modell aus. Pioniere hieran sind das Shepard Laboratorium, welches das Prinzip der umlaufenden Typentrommel und des fliegenden Abdrucks konstruktiv zur Betriebsreife brachte, und die Firma ANELEX Corp., Boston. Hier werden alle Typen einer Zeile durch Elektromagnet-Hämmerchen zum Abdruck gebracht, indem beispielsweise zuerst alle 1 in der Zeile, dann alle 2, danach alle 3 usw. der Reihe nach impulsiert und in dem Augenblick angeschlagen werden, in dem die betreffende Type dem Hämmerchen gegenüber steht. Dieser Abdruck von der umlaufenden Trommel ergibt verständlicherweise trotz kürzester Druckzeit kein exakt scharfes Druckbild, die Zeichen sind in senkrechter Richtung etwas verwaschen und bei ungenügender Justierung der Impulsgabe auch in der Höhe leicht versetzt gegeneinander.

Die Firma IBM erwarb (beim IFIP-Kongreß 1959 Paris), um dies zu vermeiden, das in Japan entwickelte Prinzip der umlaufenden Druckkette für die Drucker 1403 u. a., wobei die Typen in Zeilenrichtung umlaufen und daher die Zeile stets geradlinig steht. Ebenso wirkt die Druckstange des Druckers 1443 (Abb. 48/9.2.4.3), die in Zeilenrichtung oszilliert und die einzelnen Typen an federnden Stahlzungen trägt. Ein Vorläufer dieses Verfahrens war bereits vor 1956 von Potter als „flying typewriter" mit einem in Zeilenrichtung rotierenden Typenrad gebaut worden (6 Zeilen/s).

Ein um 1957 vorgeschlagenes Verfahren, das Druckpapier in einer Art Zykloidenbahn an die Typen anzudrücken und so trotz stetigen Papiervorschubs einen scharfen Abdruck bei relativer Ruhelage zwischen Type und Papier zu erreichen, wurde wegen konstruktiver Schwierigkeiten bisher nicht realisiert.

Im allgemeinen wird zwischen Type und Papier ein Farbtuch geführt; durch Verwendung von Einmal-Farbfolienband ist es möglich, auch mit ferrithaltiger Farbe zum Drucken magnetisch lesbarer Zeichen zu arbeiten. Der Zeilendrucker von Siemens (Abb. 46 und 47/9.2.4.3) färbt dagegen die Typentrommel direkt ein und erreicht damit ein sehr klares Druckbild.

Die Formatsteuerung des Endlospapiers erfolgt meist durch endlose Steuerlochstreifen, welche den Papiervorschub nach Zeilen oder Blatt-Sprüngen bewirken. Manche Zeilendrucker haben zwei getrennte Papierbahnen nebeneinander, um zwei Formblätter gleichzeitig mit gleichen oder verschiedenen Ergebnissen und nach unterschiedlicher Vorschubsteuerung bedrucken zu können (Abb. 46/9.2.4.3).

Die Leistung der Schnelldrucker ist abhängig davon, wieviel Typen auf dem Umfang der Typentrommel untergebracht sind. Falls nur Ziffern und Sonderzeichen gebraucht werden, können je Umdrehung zwei oder mehrere Zeilen zum Abdruck kommen; falls auch Buchstaben zu drucken sind, kann nur eine Zeile je Arbeitsspiel gedruckt werden. Im ersten Fall ist eine Druckleistung von über 25 bis 33 Zeilen/s zu erreichen. Das Drucken von später maschinell zu lesenden Zeichen verlangt sauberes Druckbild und exakte Zeichenlage, so daß im allgemeinen nur mit wesentlich geringerer Geschwindigkeit gedruckt werden kann; da für das Ablesen der Zeichen meistens die senkrechten Strichelemente maßgeblich sind, sind die Trommeldrucker hierfür gegenüber den Kettendruckern etwas im Vorteil.

Literatur: Hosken: Survey of Mechanical Printers. Joint Conf. IRE-AIEE 3/53.

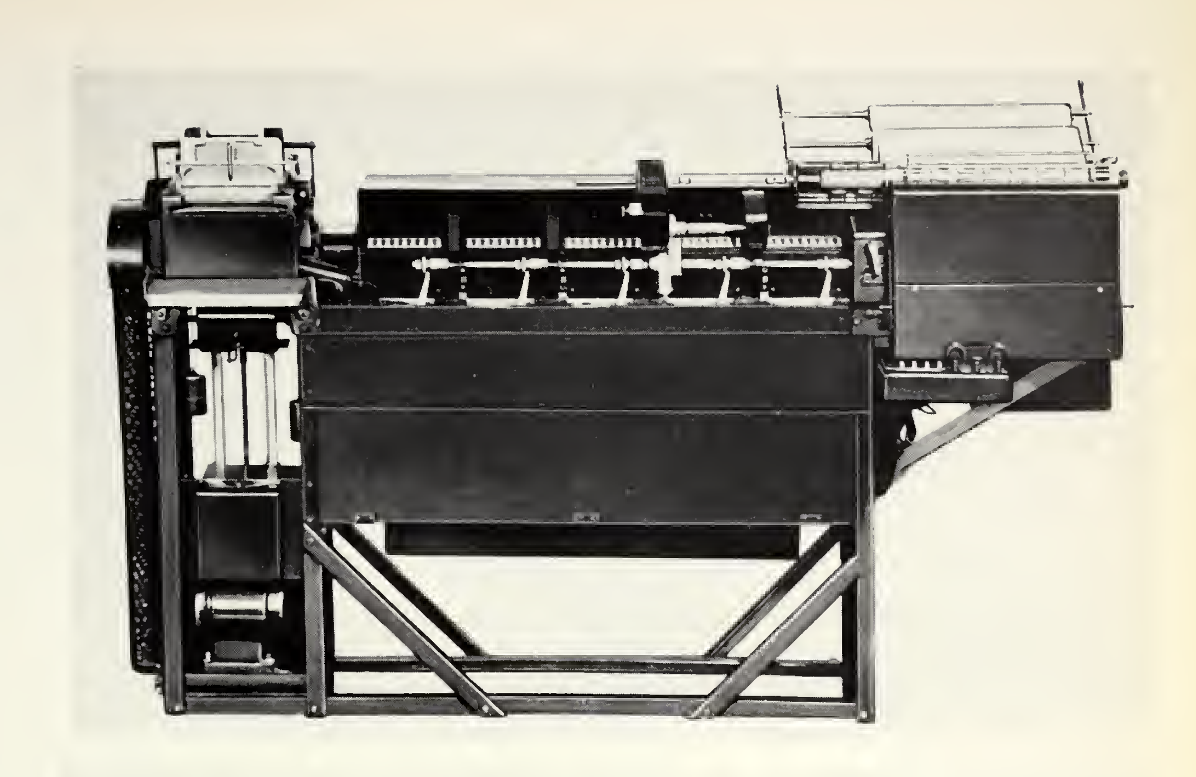




Abb. 40/9.2.4.2
Tabelliermaschinen mit Blockdruckwerken, oben Modell 3 B (1924), unten Modell D 11 mit Summendoppler (1936) (Prospektabb. IBM).

Abb. 41/9.2.4.2
*Schattenriß von Typenstange und 10 Einstellmagneten eines numerischen Blockdruckwerkes.
(Bell Telephone Manufact. Co., Antwerpen)*

9.2.4.2 *Blockdruckwerke*

Kennzeichnend für Blockdruckwerke ist, daß in jeder Stelle ein einstellbarer Typenträger in die gewünschte Druckposition gebracht und danach alle gemeinsam gleichzeitig zum Abdruck angeschlagen werden. Da die Typenträger als Stangen, Kreissegmente oder Räder nur einen begrenzten Raum zur Aufnahme von Typen bieten, und der Einstellweg ebenfalls begrenzt ist, sind die Blockdruckwerke vornehmlich auf das Drucken von Ziffern beschränkt und durchweg nur von geringer Geschwindigkeit (rd. 2 Drucke/s). Sie werden bei Saldier-, Buchungs- und Tabelliermaschinen (Abb. 40/9.2.4.2) eingebaut, in den ersteren Maschinen meist auf rd. 12 Stellen ausgebaut und nur bei Tabelliermaschinen für wesentlich längere Zeilen, aber auch dann konstruktiv meist in einzelne Zähl- und Druckwerke von rd. 12 Stellen aufgeteilt, vorgesehen. Die Positionierung des Typenträgers erfolgt mechanisch oder mittels Magneten (Abb. 41/9.2.4.2), bei alphanumerischem Druck durch Überlagerung der durch die Überlochzone bestimmten Gruppe von Zeichenpositionen mit den 10 normalen Ziffernpositionen.

9.2.4.3 *Schnell- oder Zeilendrucker*

Seit etwa 1953 wurden als schnelle Druckwerke die Zeilendrucker entwickelt; Remington lieferte 1954 das erste Modell aus. Pioniere hieran sind das Shepard Laboratorium, welches das Prinzip der umlaufenden Typentrommel und des fliegenden Abdrucks konstruktiv zur Betriebsreife brachte, und die Firma ANELEX Corp., Boston. Hier werden alle Typen einer Zeile durch Elektromagnet-Hämmerchen zum Abdruck gebracht, indem beispielsweise zuerst alle 1 in der Zeile, dann alle 2, danach alle 3 usw. der Reihe nach impulsiert und in dem Augenblick angeschlagen werden, in dem die betreffende Type dem Hämmerchen gegenüber steht. Dieser Abdruck von der umlaufenden Trommel ergibt verständlicherweise trotz kürzester Druckzeit kein exakt scharfes Druckbild, die Zeichen sind in senkrechter Richtung etwas verwaschen und bei ungenügender Justierung der Impulsgabe auch in der Höhe leicht versetzt gegeneinander.

Die Firma IBM erwarb (beim IFIP-Kongreß 1959 Paris), um dies zu vermeiden, das in Japan entwickelte Prinzip der umlaufenden Druckkette für die Drucker 1403 u. a., wobei die Typen in Zeilenrichtung umlaufen und daher die Zeile stets geradlinig steht. Ebenso wirkt die Druckstange des Druckers 1443 (Abb. 48/9.2.4.3), die in Zeilenrichtung oszilliert und die einzelnen Typen an federnden Stahlzungen trägt. Ein Vorläufer dieses Verfahrens war bereits vor 1956 von Potter als „flying typewriter" mit einem in Zeilenrichtung rotierenden Typenrad gebaut worden (6 Zeilen/s).

Ein um 1957 vorgeschlagenes Verfahren, das Druckpapier in einer Art Zykloidenbahn an die Typen anzudrücken und so trotz stetigen Papiervorschubs einen scharfen Abdruck bei relativer Ruhelage zwischen Type und Papier zu erreichen, wurde wegen konstruktiver Schwierigkeiten bisher nicht realisiert.

Im allgemeinen wird zwischen Type und Papier ein Farbtuch geführt; durch Verwendung von Einmal-Farbfolienband ist es möglich, auch mit ferrithaltiger Farbe zum Drucken magnetisch lesbarer Zeichen zu arbeiten. Der Zeilendrucker von Siemens (Abb. 46 und 47/9.2.4.3) färbt dagegen die Typentrommel direkt ein und erreicht damit ein sehr klares Druckbild.

Die Formatsteuerung des Endlospapiers erfolgt meist durch endlose Steuerlochstreifen, welche den Papiervorschub nach Zeilen oder Blatt-Sprüngen bewirken. Manche Zeilendrucker haben zwei getrennte Papierbahnen nebeneinander, um zwei Formblätter gleichzeitig mit gleichen oder verschiedenen Ergebnissen und nach unterschiedlicher Vorschubsteuerung bedrucken zu können (Abb. 46/9.2.4.3).

Die Leistung der Schnelldrucker ist abhängig davon, wieviel Typen auf dem Umfang der Typentrommel untergebracht sind. Falls nur Ziffern und Sonderzeichen gebraucht werden, können je Umdrehung zwei oder mehrere Zeilen zum Abdruck kommen; falls auch Buchstaben zu drucken sind, kann nur eine Zeile je Arbeitsspiel gedruckt werden. Im ersten Fall ist eine Druckleistung von über 25 bis 33 Zeilen/s zu erreichen. Das Drucken von später maschinell zu lesenden Zeichen verlangt sauberes Druckbild und exakte Zeichenlage, so daß im allgemeinen nur mit wesentlich geringerer Geschwindigkeit gedruckt werden kann; da für das Ablesen der Zeichen meistens die senkrechten Strichelemente maßgeblich sind, sind die Trommeldrucker hierfür gegenüber den Kettendruckern etwas im Vorteil.

Literatur: Hosken: Survey of Mechanical Printers. Joint Conf. IRE-AIEE 3/53.

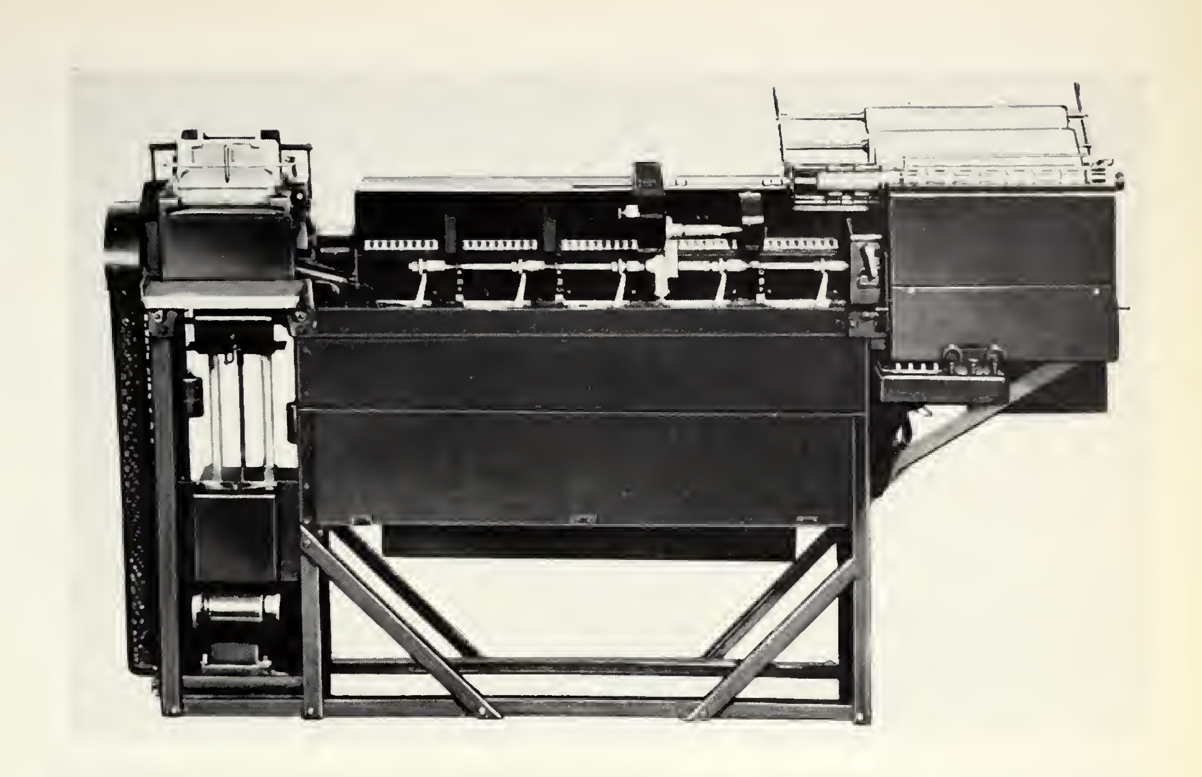




Abb. 40/9.2.4.2
Tabelliermaschinen mit Blockdruckwerken,
oben Modell 3 B (1924), unten Modell D 11 mit Summendoppler (1936) (Prospektabb. IBM).

Abb. 41/9.2.4.2
Schattenriß von Typenstange und 10 Einstellmagneten eines numerischen Blockdruckwerkes.
(Bell Telephone Manufact. Co., Antwerpen)

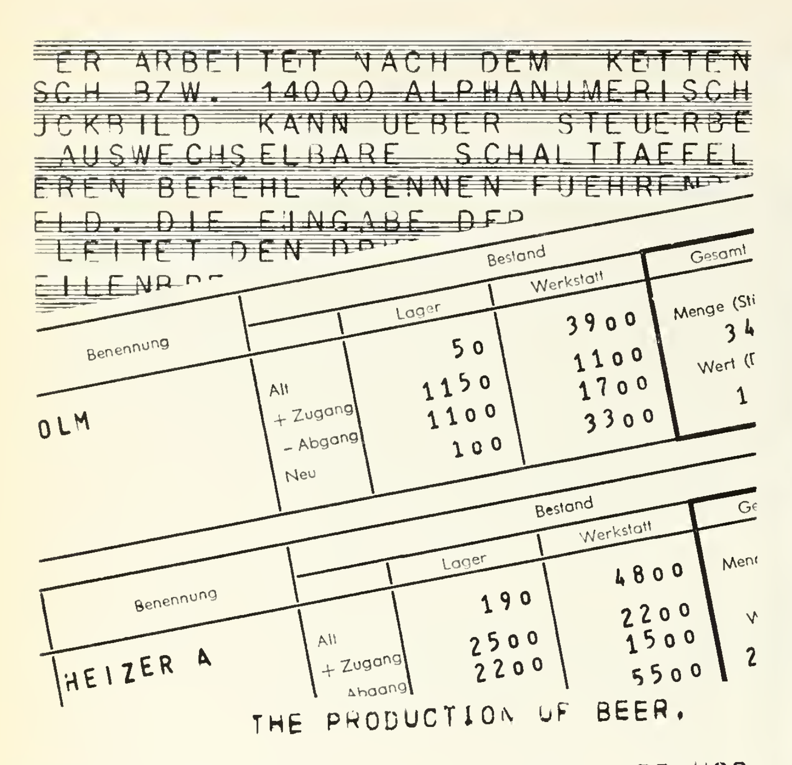


Abb. 42/9.2.4.3
Ausschnitte aus Drucken mittels Zeilenschnelldruckern mit umlaufender Typentrommel; man erkennt (oben und unten) das von der exakten Justierung der Magnethämmer abhängige senkrechte Tanzen der Zeichen.

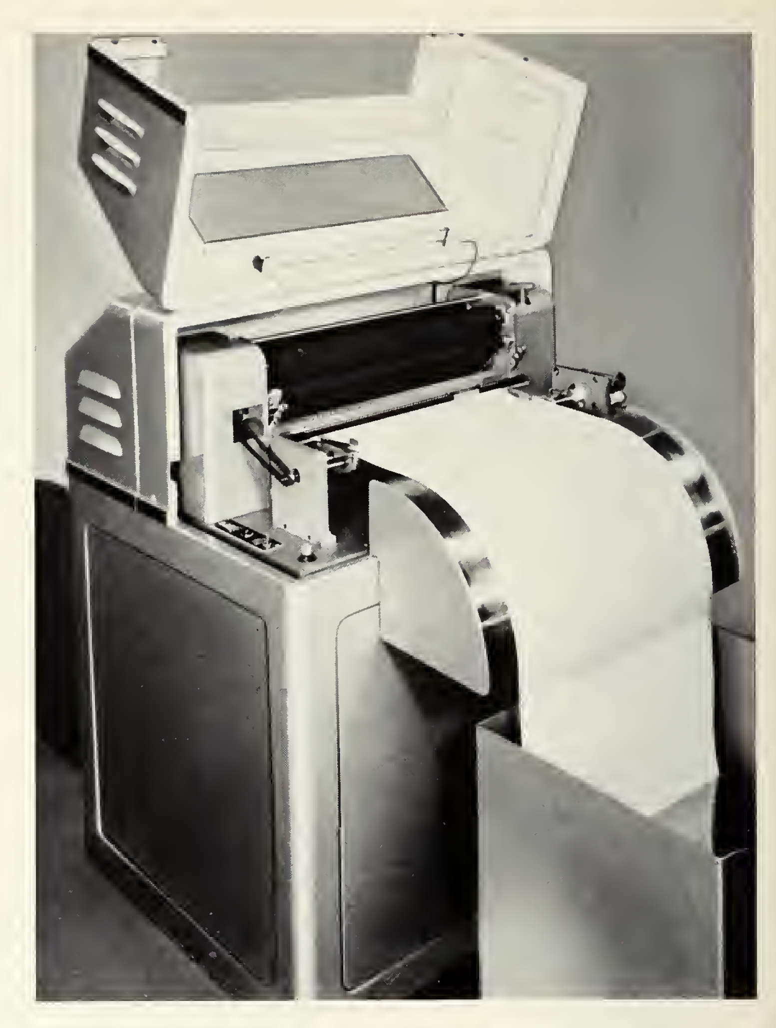


Abb. 43/9.2.4.3
Schnelldrucker mit umlaufender Typentrommel, Bauart Shepard. (Werkbild SEL)
Typentrommel oberhalb der Endlos-Papierbahn zwischen den Farbtuch-Rollen; Druckhämmer werden von unten angeschlagen. Papiervorschub mittels beidseitiger Stachelkette, daran hinten angeschlossen der Lochstreifenabtaster zur Formatsteuerung.

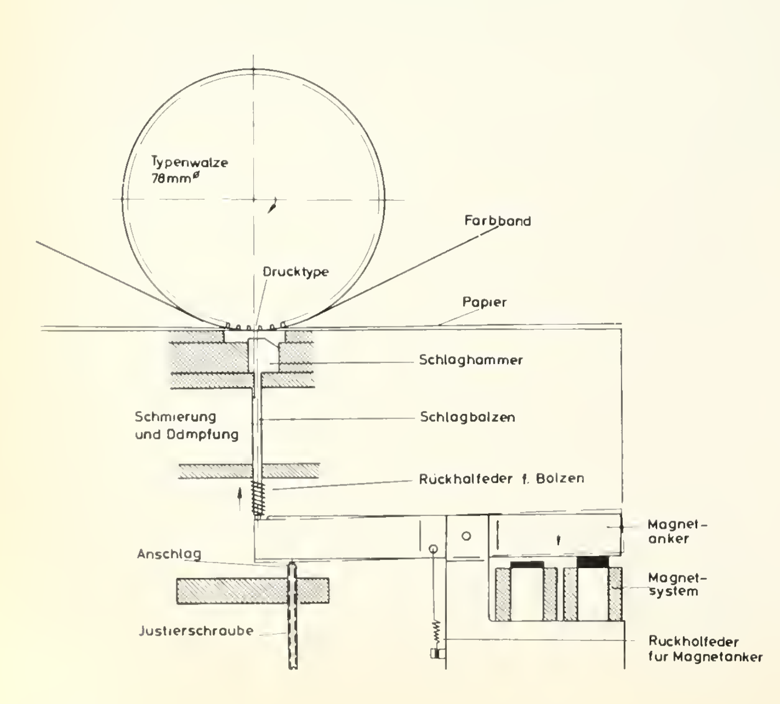


Abb. 44/9.2.4.3
Zeilen-Schnelldrucker mit umlaufender Typentrommel und „fliegendem" Abdruck (schematische Darstellung).

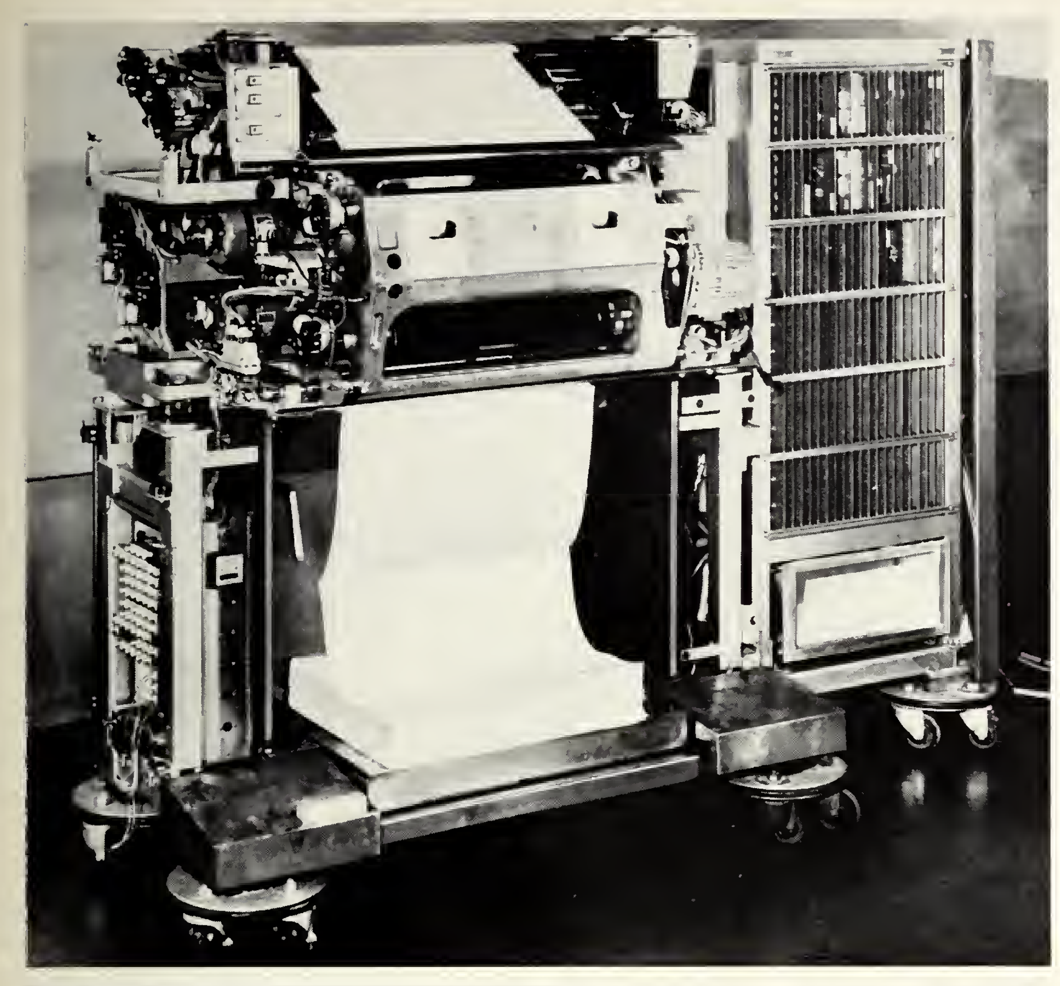


Abb. 45/9.2.4.3
Schnelldrucker der Rechenanlage Bull Gamma 10 mit Steuerelektronik ohne Verkleidung.
Die umlaufende Typentrommel und die Farbtuch-Rollen sind in einer nach vorn aufklappbaren Türe untergebracht, um die Papierbahn leicht einlegen zu können.



Abb. 46/9.2.4.3
Schnelldrucker mit umlaufender Typenwalze SIEMENS (geöffnet).
Das Endlos-Papier kann in zwei Bahnen mit unterschiedlich gesteuertem Vorschub transportiert werden; 132 Schreibstellen je Zeile, bzw. 115 bei zweibahnigem Druck.
Leistung numerisch 90 000 Zeilen/Std., alphanumerisch 45 000 Zeilen/Std.

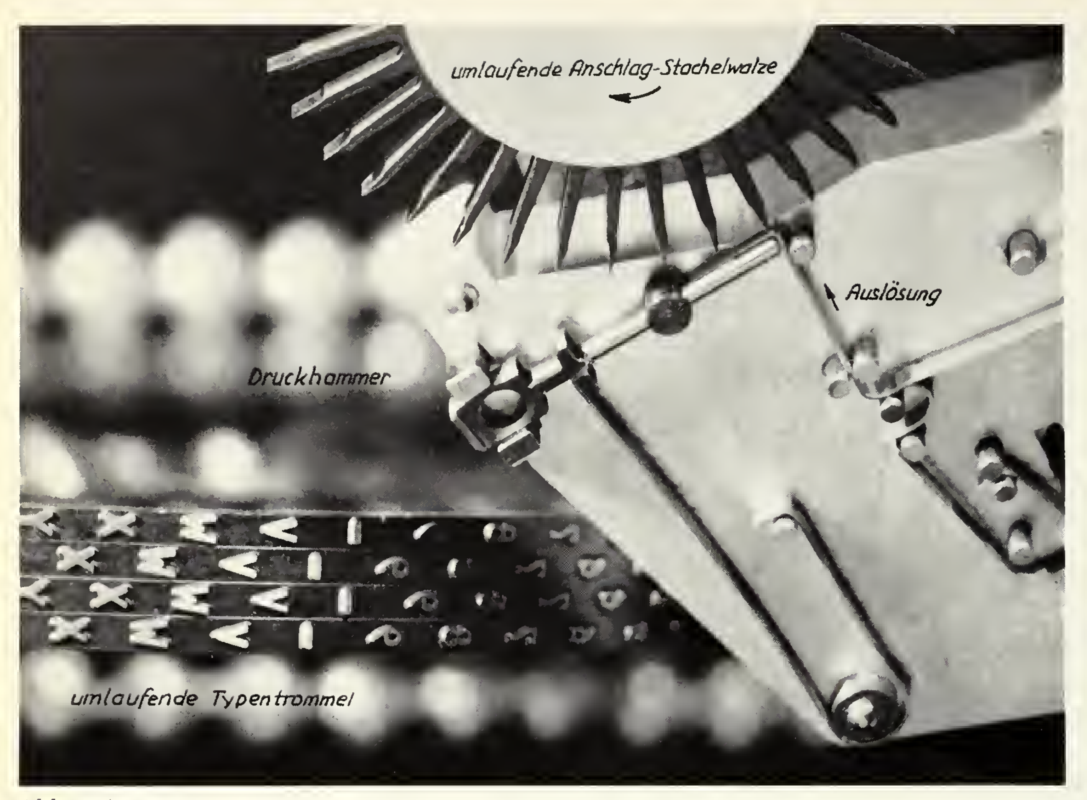


Abb. 47/9.2.4.3
Detailbild des Siemens-Schnelldruckers
Anschlag des Druckhammers durch Verschieben des Auslösehebels, der dadurch in die Umlaufbahn der Stachelwalze gerät. Der Zeitpunkt des Anschlages wird daher von der konstantbleibenden Präzision der Stachelwalze bestimmt, nicht von der genauen Justierung der Erregung der Auslösemagnete.
Als einziger wird dieser Schnelldrucker mit direkter Einfärbung der Typentrommel gebaut; sehr gutes Druckbild (ohne die sonst unvermeidbare Struktur des Gewebefarbtuches) ist die Folge und optisches Lesen dadurch besonders zuverlässig.

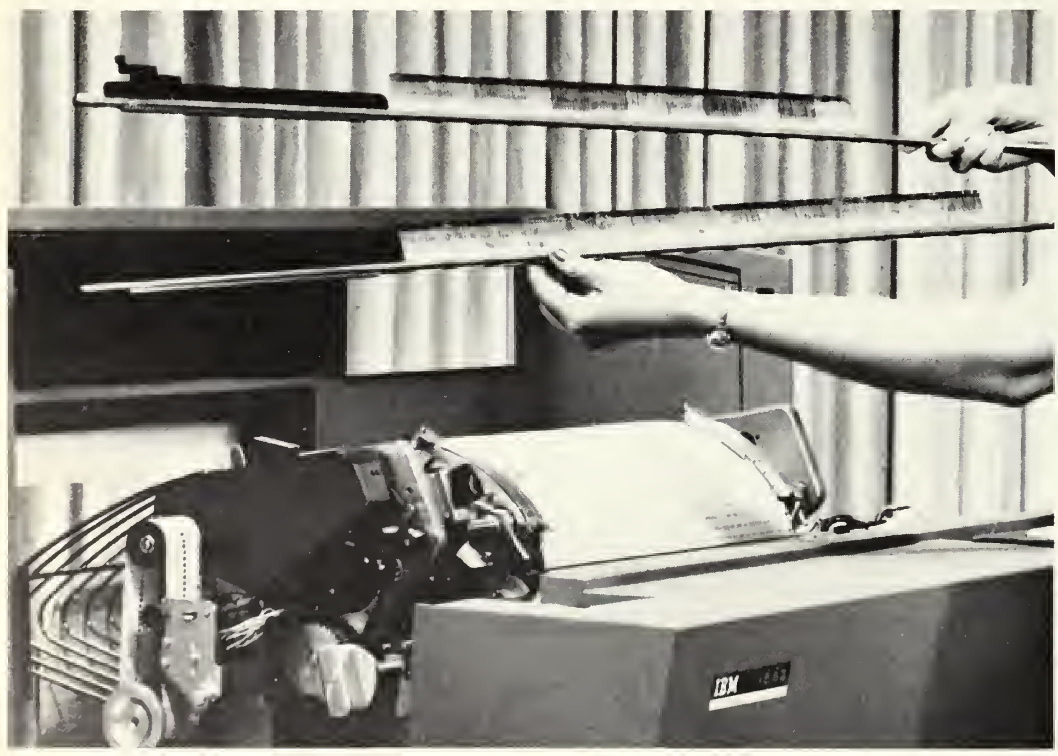


Abb. 48/9.2.4.3
Typenstangen-Schnelldrucker IBM 1443
Die Drucktypen sind auf federnden Stahlzungen angebracht, die auf einer in Zeilenrichtung oszillierenden Stange aufgereiht sind. Die Druckhämmer schlagen jedes Zeichen im Augenblick des Vorbeilaufes an; die Zeilenlage der Druckzeichen ist gut. Die Typenstangen sind leicht auszuwechseln, für rein numerischen und alphanumerischen Druck auszutauschen. Druckleistung bei numerischem Druck max. 7 Zeilen/s.



Abb. 49/9.2.4.3
Tabelliermaschine „Samastronic" der Powers-Samas Accounting Machines Ltd., London (1957)
Druckleistung ca. 5 Zeilen/s bzw. ca. 700 Zch/s. Druckt mit um eine Zeichenbreite oszillierendem Träger für je einen impulsgesteuerten Druckdraht je Stelle auf stetig transportiertes Papier (siehe Abb. 20). Dateneingabe aus Lochkarten. Das im Bild links oben sichtbare Druckwerk ist aufklappbar, um Farbtuch und Papierbahn einlegen zu können.

Sonderbauarten von Schnell-Zeilendruckern

Powers-Samas entwickelte um 1958 einen Drucker mit ungewöhnlichem Arbeitsprinzip: „Samastronic" (Abb. 49/9.2.4.3), der bei mehreren britischen Rechenanlagen Verwendung fand. Hier war für jede Zeichenstelle ein gegen Farbtuch und Papier impulsgesteuert vorgeschobener Drahtgriffel vorgesehen; alle diese Drähte waren in einer die Zeile überdeckenden Leiste gelagert, und diese Leiste oszillierte in schnellem Takt um eine Zeichenbreite. Die Griffeldrähte waren über bewegliche Bowdendrähte an je einen Magnetanker angeschlossen. Im Zusammenwirken zwischen stetigem Papiervorschub, Oszillationsbewegung in Zeilenrichtung und Impulssteuerung der Druckgriffel wurde jedes gewünschte Zeichen in Rasterform aus Punkten ausgedruckt, wobei die Lage der Druckpunkte und die Form des Zeichens allein von der jedem Zeichen zuzuordnenden Codewandlung bzw. Impulssteuerung abhing. Dieser Drucker leistete 5 Zeilen/s.

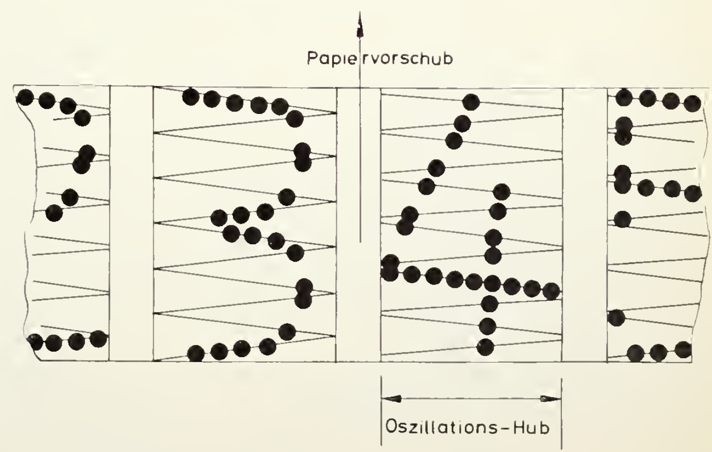


Abb. 50/9.2.4.3
Beispiel für den punktweisen Aufbau eines Zeichens durch Überlagerung von Papiervorschub, Oszillationsbewegung und Schreibstift-Impulsierung beim „Samastronic"-Drucker.

9.2.4.4 Nichtmechanische Drucker

Die mechanisch wirkenden Zeilendrucker werden wegen der begrenzten Ansprechzeit von Elektromagneten nicht wesentlich über die heute erreichten Leistungsgrenzen hinauskommen. Schnellere Ausgabe ist nur möglich mit nichtmechanischen Verfahren.

Seit 1958 wird das (von Carlson 1939 gefundene) xerographische Verfahren zum Ausdrucken von Ergebnissen verwendet, indem entweder ein Leuchtbild auf die photoleitende Halbleiter- (Selen-)Drucktrommel projiziert, dann eingefärbt und abgedruckt wird — so beim „Xeronic"-Schnelldrucker von Rank Precision Industries Ltd. (Abb. 51/9.2.4.4) mit 50 Zeilen/s und beim Stromberg-Carlson SC 5000 (Abb. 52/9.2.4.4) —, oder indem nichtoptisch eine Zeile von in eine Kathodenstrahlröhre eingelassenen Elektrodendrähten durch den Strahl impulsiert wird und ihre Ladung als Matrix-Punkt Raster-Zeichen auf die Drucktrommel aus isolierendem Material bzw. direkt auf speziell beschichtete Papiere induziert, wonach wiederum die Ladungspunkte mit Farbpuder eingefärbt und abgedruckt werden — so z. B. beim elektrographischen Drucker (1962) von Radiation Inc. (500 Zeilen/s = 60 000 Zch/s) oder beim A. B. Dick „Videograph" 910-1 Address Label-Drucker (20 000 Zch/s) (Abb. 54/9.2.4.4).

Literatur: electronics, 14. 4. 1961.

Die Daten können dabei von schnellen Rechenanlagen direkt oder bei langsameren von einem Magnetband mittelbar in die Aufnahmespeicher und die Umwandlungselektronik des Druckers eingegeben werden. Nach gleichem Verfahren hatte A. B. Dick einen Faksimile-Bilddrucker mit 62 500 Elektrodendrähten je Quadratzoll gebaut (1961).

General Electric hatte um 1958 ein ähnliches Prinzip mit einfärbbaren Magnetpunkten auf einer Umdrucktrommel entwickelt, das jedoch keine breitere Anwendung fand.

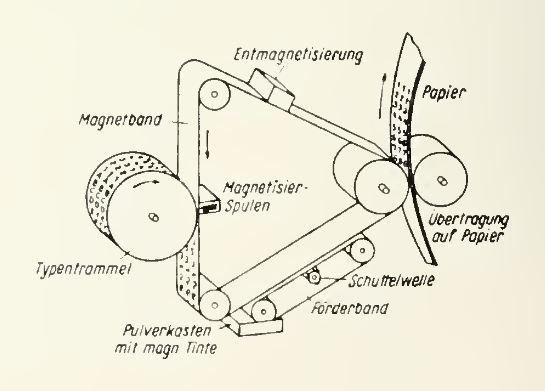
Burroughs entwickelte um 1956 einen xerographischen Drucker mit einer Stift-Matrix aus 5×7 Elektroden für jede Schreibstelle; alle 72 Matrizen einer Zeile wurden aus einem Code-Umsetzer parallel impulsiert, aber nur diejenigen durch je eine Gegenelektrode wirksam gemacht, welche zum Abdruck kommen sollten. Das Druckwerk leistete 4 Zeilen/s mit 72 Zch/Zeile und sollte etwa halb so teuer sein wie vergleichbare mechanische Schnelldrucker.

Neueste Versuche gehen dahin, die in einer Elektronen-Bildröhre erzeugten Zeichen direkt mittels Elektronenstrahl-sensiblem Papier festzuhalten, wobei der Farbumschlag von Tetrazoliumsalzen genutzt wird.

Literatur: Schiele und Vollmer, Informationsaufzeichnung durch Elektronenstrahl-induzierte Verfärbung von Tetrazoliumsalzen. Telefunken- Ztg. 37 (1964) 3/4, S. 333–342).



Abb. 51/9.2.4.4
Xerographischer Schnelldrucker „XERONIC" (1958)
Leistung bis zu 50 Zeilen/s auf 66 cm breite Papierbahn. Ansteuerung von Magnetband oder direkt von der Rechenanlage, z. B. von Ferranti-ORION, AEI 1010 oder EMIDEC 2400. Einblenden von Formular-Linien und Vordruck möglich, also kein Spezialpapier erforderlich. Die Zeichenform wird durch elektronische Schaltung gebildet.
Preis rd. 500 000,– DM. (Rank-Precision Industries Ltd.)



Prinzip-Skizze des Magnet-Druckers von General Electric.
Literatur: Shergalis, L. D., A 600 000 Lines per Minute Printer Races Computer. Electronics, 24. 5. 1963, S. 26–27.

Gitter im Elektronenstrahl zum Ausblenden der Zeichen
Bedienungstastatur
„Charactron"-Bildröhre
Umlenkprisma mit Optik zur Projektion des Schirmbildes auf die Trommelschicht, wodurch deren Aufladung abgeleitet wird.
Hebewerk für das Farbpuder, das sich im Herabrieseln nur an die entladenen Stellen der Trommeln, d.h. an die belichteten Zeichen ansetzt.
Steuerung und Verstärker für die Bildröhre
Reinigung der Trommel von Farbpuder-Resten
Elektrostatische Aufladg. der Trommelschicht (Selen)
Fixierung des Pulverbildes
Photosensitiv beschichtete Umdruck-Trommel
Blattschneider
Elektrostatische Übertragung des Farbpuders auf Papier
Papier-Aufwicklg.
Papier-Vorratsrolle
Netzgeräte

Abb. 52/9.2.4.4
Xerographischer Schnelldrucker SC 5000 von Stromberg-Carlson (schematische Darstellung des Aufbaus). Leistung 72 Zeilen/s.

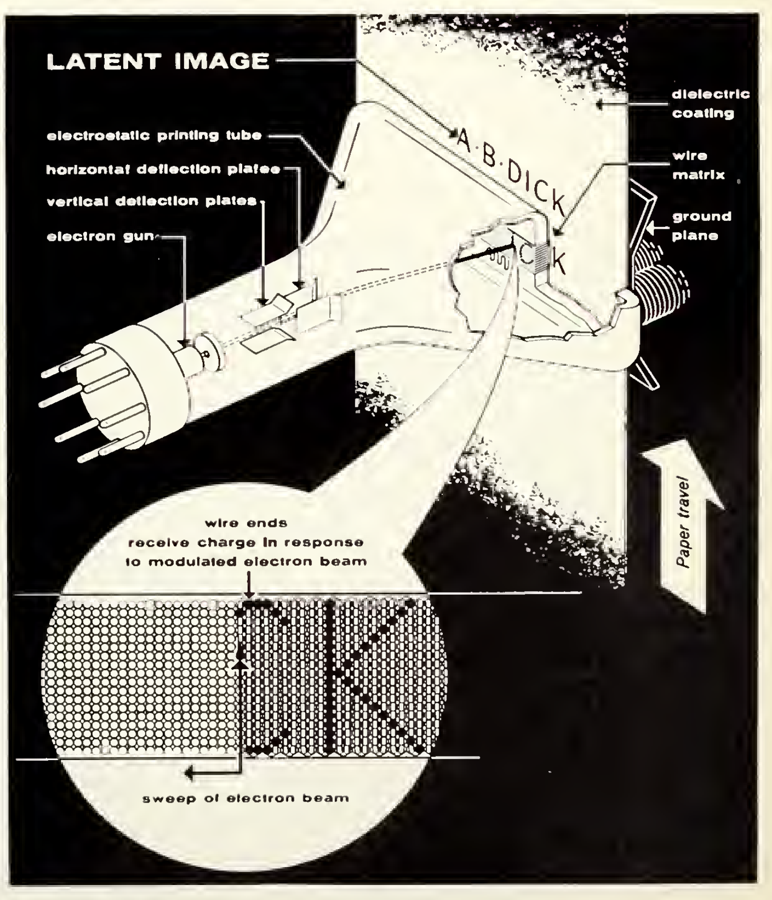




Abb. 53/9.2.4.4
Das Blendengitter der Charactron-Bildröhre zum Ausblenden der Druckzeichen im xerographischen Schnelldrucker SC 5000.

Abb. 54/9.2.4.4
Elektrographischer Druck mit Kathodenstrahlröhre mit Draht-Matrix im Bildschirm auf nichtleitend beschichtetes Papier (schematische Darstellung).
A. B. Dick Address Label Printer Mod. 910 „Videograph" (1960).

9.2.4.5 *Ausgabe in Mikrofilm*

Schon die russischen Rechenanlagen BESM (Abb. 83-84/6.5) und URAL (Abb. 86/6.5) hatten eine Einrichtung zum Aufnehmen der Ergebnis-Anzeige im Lampentablo auf Mikrofilm vorgesehen, weil die schnellen Druckwerke noch nicht zur Verfügung standen und die Rechenleistung durch langsame Ausgabe nicht beeinträchtigt werden sollte.

Je schneller neuerdings die Rechner und je zuverlässiger die elektronischen Bauelemente werden, umso mehr stört die notgedrungen mechanisch bleibende Bauweise der Schnelldrucker mit ihrer Leistungsgrenze und Wartungsempfindlichkeit. Da in manchen Fällen auf einen frei lesbaren Originaldruck verzichtet werden kann und ohnehin in Mikrofilm-Form archiviert werden soll, liegt es nahe, das elektronisch erzeugte Bild der Ergebnisinformation unmittelbar auf Film aufzunehmen.

Ähnlich wie der vorbesprochene Schnelldrucker (Abb. 52, 53/9.2.4.4) verwendet auch das DACOM-System von Recordak und das Modell S-C 4400 von General Dynamics/Electronics (früher Stromberg-Carlson Co.) eine „Charactron-Röhre" zur Erzeugung von 64 Zeichen und zur Projektion dieser auf das Ausgabe-Medium, das hier als 35- oder 16-mm Mikrofilm vorliegt. Ein konstantes Vordruck-Muster kann durch eine Projektionseinrichtung eingeblendet werden. Wahlweise kann auch neben oder statt dem Mikrofilm ein Papierbild hergestellt werden. Leistung ist bei fortlaufendem Ausgeben von Text 62 500 Zeichen/s oder rd. 240 Seiten/Min.

Die Charactron-Röhre hat einen Bildschirm von 10 × 10 cm und ein Auflösungsvermögen in ein Punktraster von 1024 × 1024 Punkten, wobei in je 0,5 Sekunden 64 Zeilen zu je 126 Zeichen dargestellt werden.

Daher können auch graphische Darstellungen aus diskreten Punkten oder Punktfolgen, d. h. Strichen und Kurven, ausgegeben werden. Die Leistung ist dabei 12 000 Punkte bzw. 2500 Striche je Sekunde.

Besonders bemerkenswert ist für die Erstellung von Dokumentations-Mikrofilmen, daß auch die zu jedem Informationsfeld gehörende Codenummer automatisch einbelichtet werden kann.

Die Anlage umfaßt je 1 Schrank für Magnetband-Transport und -Anschluß, drei Gestelle für Ansteuerung und Erzeugung des Bildes, und wahlweise noch einen Schrank mit der zusätzlichen Papierbildeinrichtung, die rd. 60 Seiten von 24 × 24 cm Größe je Minute auszugeben vermag.

9.2.5 *Ergebnisdarstellung durch Anzeige- und Schreibgeräte*

Bei vielen wissenschaftlichen Anwendungen der Rechenanlagen ist die Ausgabe zahlenmäßiger Ergebnisse der Berechnungen nur ein Hilfsmittel, um danach graphische Darstellungen zeichnen zu können, welche viel anschaulicher als Zahlentafeln sind. In Sonderfällen ist überhaupt erst die Zeichnung das Ziel der Arbeit, beispielsweise beim Nachprüfen eines Arbeitsprogrammes für die Steuerung von Werkzeugmaschinen, wo sich im Bilde zeigen muß, ob das programmgemäß gefertigte Werkstück mit der Konstruktionszeichnung übereinstimmen wird.

Es ist daher zweckmäßig, die errechneten digitalen Ergebnisse automatisch in einem Kurvenanzeige- oder schreibgerät aufzuzeigen und festzuhalten.

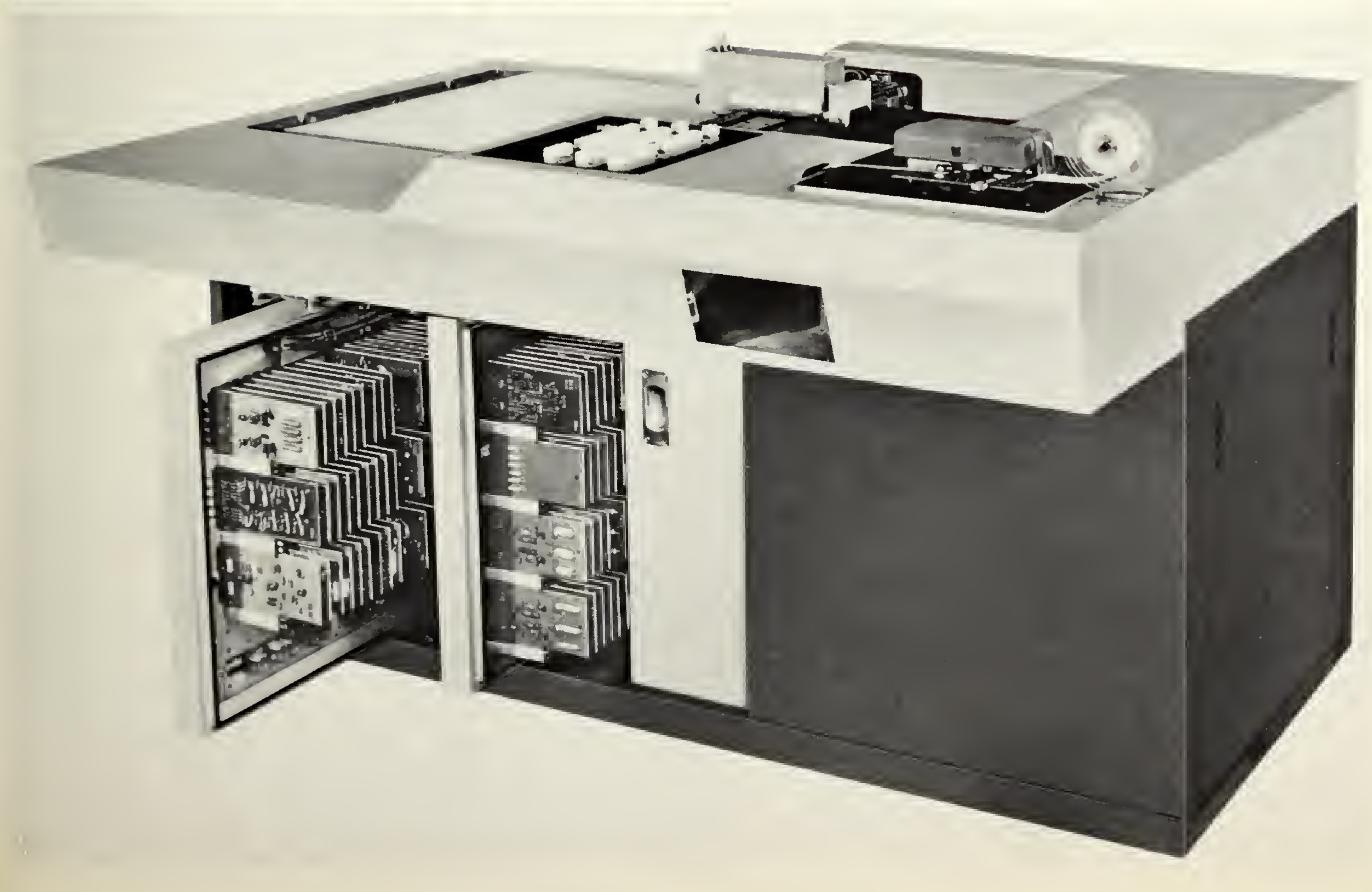
Zum ersten Zweck dient das Analog-Sichtgerät (Abb. 55/9.2.5) mit digitaler Ansteuerung, das aus einer Kathodenstrahlröhre bzw. einer Fernseh-Bildröhre besteht. Bei schnellen Rechenanlagen und relativ kurzen Rechnungen kann es, vor allem bei langer Nachleuchtzeit des Bildpunktes, zum stetigen Anzeigen der punktweise eingesteuerten Ergebnisdaten dienen, d. h. also direkt an die Rechenanlage angeschlossen sein. Beim Modell IBM 2280 ist das Analog-Sichtgerät mit der Mikrofilm-Einrichtung zu verbinden, so daß das Bild im Film gespeichert und auch daraus wieder abgebildet werden kann. Mit einem Lichtgriffel können Strichänderungen über das Kathodenstrahlrohr eingegeben werden.

Beim Zeichnen von Kurven auf Papier mittels automatischer Koordinatographen ist der Arbeitsablauf dagegen langsamer, so daß nur im OFF-LINE-Betrieb gearbeitet werden kann, meist mit Ansteuerung mittels Lochstreifen oder Magnetband. Dabei gibt es entweder die Möglichkeit, Kurven durch engschrittige Treppenzüge zu ersetzen, oder durch stufenlose oder — dem digitalen Rechnen besser angepaßt — enggestufte Schaltgetriebe, vornehmlich dual gestufte (Abb. 56/9.2.5), die Kurven durch Tangenten oder Sehnenstücke anzunähern. Die Genauigkeit des Aufzeichnens hängt von der Schrittweite und damit von der Arbeitsgeschwindigkeit ab; sie kann für alle Fälle ausreichend gut bemessen werden. Kleine Koordinatographen oder Kurvenzeichner lassen für eine Koordinatenrichtung den Papiervorschub steuern, arbeiten also ähnlich wie ein schreibendes Meßgerät; große Zeichentische (Abb. 56/9.2.5) arbeiten mit Verschiebung des Zeichenstiftes über das feststehende Papier und erlauben sogar gesteuerte Beschriftung der Zeichnung mit programmierten Ziffern und Zeichen.



Abb. 55/9.2.5
Analog-Sichtgerät mit Fernseh-Bildröhre
Ansteuerung durch den Rechner punktweise zur Darstellung von Ergebnissen in Kurvenform.
(Siemens & Halske)

Abb. 56/9.2.5
ZUSE–„GRAPHOMAT"
Lochstreifengesteuerter Zeichentisch mit dualem Schaltgetriebe zum Zeichnen von schrägen Linien und Kurven in enggestuften Tangentenschritten.



Die Folge von Arbeits- oder Rechenschritten, die zum Lösen einer bestimmten Aufgabe abgewickelt werden muß, ist bei allen datenverarbeitenden und Rechenanlagen im voraus bis ins Einzelne zu durchdenken und in einer von der Maschine auswertbaren Form festzulegen. Bei Vierspezies-Rechenmaschinen brauchen zwar nur die vier möglichen Operationen durch Tastendruck aufgerufen zu werden, doch muß auch hier die Folge der Rechenschritte — etwa durch ein vorbereitetes Arbeitsblatt mit Rechenschema — vorbedacht sein.

Falls nur wenige verschiedene und fest eingebaute Operationen ausgewählt werden können, werden diese ausgelöst durch

Tastaturen: die jeweiligen mechanischen oder elektrischen Schaltelemente werden von Hand in der richtigen Reihenfolge angesprochen, beispielsweise durch die + oder − Taste der Vor- bzw. Rücklauf des Zählwerks zu Addition und Subtraktion;

mechanische Ansteuerung: meist werden in Abhängigkeit von der vorher festgelegten Anordnung der niederzuschreibenden Ergebniszahlen auf dem Vordruckblatt entsprechend viele Nocken oder Reiter in eine Steuerbrücke eingesetzt, die am Papierwagen oder parallel dazu angeordnet ist; dadurch werden je nach der Stellung des Schreibwagens die vorbestimmten Operationen eingeschaltet;

schrittweises Fortschalten eines elektrischen Zähl- oder Schaltwerkes, wodurch die Arbeitsschritte in der vorbestimmten Reihenfolge impulsiert werden; ein Beispiel hierfür ist die in Abb. 1/4.1 gezeigte Steuerung einer Buchungsmaschine.

Falls die Arbeitsabläufe durch eine große Anzahl an arithmetischen und logischen Funktionen und an Zählwerks- und Speicherpositionen zu kompliziert und zu lang werden, als daß noch mit jedem Schritt eine eigene Druckposition auf dem Schreibwagen eingestellt werden könnte, dann muß das Programm auf einem gesonderten Programmträger eingespeichert und schrittweise abgearbeitet werden. Als derartige Programmträger dienen beispielsweise

Steuerlochkarten, die nacheinander eingegeben und schrittweise abgetastet werden und jeweils eine begrenzte Schrittfolge enthalten, oder

Lochstreifen oder Magnetbänder in gleicher Weise für lange Programme (siehe Magnetbandrechner Abb. 65/6.3).

Derartige Programmträger erlauben jedoch nur ein stetig fortschreitendes Abarbeiten in der einmal festgelegten Reihenfolge der Operationen, also keine logischen Entscheidungen mit bedingten Sprüngen oder Programmschleifen: nur „lineare" Programme. Solche Steuerlochkarten werden neuerdings bei elektronischen Tischrechenmaschinen (WYLE und LOCI) verwendet.

Da der größte Fortschritt bei den elektronischen Rechenanlagen aber gerade darin liegt, daß eben logische Entscheidungen gefällt werden und danach der weitere Ablauf des vorbereiteten Programms gesteuert werden kann, sind derart lineare Programme und Programmträger nur noch von geringem Interesse. Es gibt natürlich den Ausweg, bei Verzweigungen auf getrennte Unterprogramm-Lochstreifen überzuwechseln, diese abzuarbeiten und danach wieder auf das linear fortschreitende Hauptprogramm zurückzuschalten (Abb. 79/9.3), doch findet dieses Verfahren bald eine Grenze. Den Forderungen *John von Neumanns* entsprechend wird das Programm besser in dem internen Speicher mit schnellem, wahlfreiem Zugriff der Rechenanlage untergebracht und zwar so, daß jeder Schritt, der zu einer logisch bedingten Verzweigung führt oder eine solche wieder zusammenführt, wahlweise aufrufbar ist, daß also beliebige Sprünge, vorwärts und rückwärts, und mehrfaches Durchlaufen von Schleifen und Unterprogrammen möglich wird.

Als Programmspeicher dienen die Schnellspeicher — zumeist Ringkernspeichermatrizen — oder bei kleinen und langsamen Anlagen die Magnettrommel. Lange Programme werden oft in Teilabschnitten aus einem Großspeicher (Magnetplattenspeicher) in den Schnellspeicher übertragen, damit dieser nicht übermäßig groß zu sein braucht.

Die einzelnen Arbeitsschritte selbst können, wie bei Tischrechenmaschinen, mechanisch verkörpert sein durch Nockenscheiben und dgl.; bei elektronischen Rechenanlagen sind sie elektrisch verdrahtet, und zwar entweder

fest für konstante Operationsfolgen, oder

wechselbar durch
- Steckverbindungen zwischen den Schaltelementen,
- gefädelte induktive Verkopplung,
- Steckplatten nach Kreuzschienen-Verteiler-Art,
- variabel steckbare Bauelemente (Dioden oder Ferritstöpsel),

Dabei werden im allgemeinen die kleinsten Befehlseinheiten fest eingebaut, größere Operationen variabel festgelegt und die oft gebrauchten Befehlsfolgen oder Unterprogramme von Fall zu Fall eingespeichert. Das eigentliche Arbeitsprogramm wird dann sowohl Befehlseinheiten wie Unterprogramme

aufrufen. Die Programme werden mit den vorhandenen Eingabemitteln der Anlage in deren interne Speicher eingelesen, also meist mit Lochkarten oder Lochstreifen zur Ersteingabe; mit Magnetband nur, wenn sie zur Wiederbenützung aus dem Speicher auf Band ausgeschrieben worden waren. Direktes Beschreiben eines Programm-Magnetbandes (siehe 9.1.4) durch handbedingte Tastatur war nur beim Rechner Mark III vorgesehen (Abb. 80/9.3).

Um das Ausschreiben der Programme zu erleichtern, wird meist vorgesehen, daß bei der Ersteingabe nur die wichtigsten, oft mit leicht zu merkenden Abkürzungen bezeichneten Operationen oder Befehlsgruppen angegeben werden müssen; diese werden dann mit einem vorher in die Maschine eingegebenen Übersetzungs-Programm in die ausführliche Maschinensprache umgewandelt. Die wenigen dazu erforderlichen Oberbefehle können beispielsweise in Form von vorgestanzten Lochkarten (Abb. 81/9.3) weitgehend bereitliegen, so daß sie nur noch zu ergänzen und in der dem Programmablauf entsprechenden Reihenfolge zusammenzustellen sind: „Baukasten-Informations-System nach genormten Operationskarten BINGO" von AC-Service und andere.

9.3.1 Tastaturen

Fest eingebaute Ablaufsteuerungen für einzelne oder wenige Operationen können durch Tastendruck ausgelöst werden. So ist es bei allen mechanischen und auch bei den modernen elektronischen Tischrechenmaschinen, und auch für Sonderaufgaben und bei Spezialrechnern ist es zweckmäßig: beispielsweise bei dem geodätischen Spezialrechner ZUSE Z 11 (siehe auch Abb. 21/5.4.6).

Natürlich muß hinter dem Auslöseknopf die eigentliche Ablaufsteuerung sitzen, in diesem Falle also eine für konstantes oder Festprogramm.

Programmgesteuerte Rechenanlagen besaßen anfangs ebenfalls ein umfangreiches Steuerpult mit Ziffern- und Befehlstasten, um auch manuell in den Programmablauf eingreifen zu können (Abb. 2/9.3). Heute ist das Tastenfeld des Steuerpultes meistens abgelöst durch eine Ein/Ausgabe-Schreibmaschine, die jeden Eingriff in das gespeicherte Programm in einem gleichzeitig ausgeschriebenen Protokoll sichtbar werden läßt; die zusätzlich erforderlichen Tasten und Anzeigelampen des Steuerpultes sind nur noch für den Wartungsdienst bestimmt und wenn möglich sicherheitshalber gesondert und abschließbar angeordnet, um jeden unprotokollierten Eingriff unmöglich zu machen.

9.3.2 Verkörperung und Aufruf von Festprogrammen

9.3.2.1 durch mechanische Steuerung

Dies ist nur dann möglich, wenn jedem Arbeitsschritt eine bestimmte Position des Schreibwagens zugeordnet werden kann und also mittels Reiter und steckbarer Nocken und damit betätigter Schalter jeweils eine bestimmte Operation einzuschalten ist. Buchungsmaschinen sind für diese Programmierungsart prädestiniert, weil sie tatsächlich jede Kontenbewegung ausdrucken müssen; daher haben sie zum Teil sehr vielbahnige Steuerbrücken (Abb. 4/9.3), besser noch mehrere auswechselbare oder umschaltbare. Das gleiche gilt für die aus Buchungsmaschinen-Druckwerken entwickelten Codierdrucker für maschinenlesbare Schrifttypen, bei denen die Lesefelder und Trennsymbole sowie feste Informationen in bestimmte Positionen der Lesezeile eingesteuert werden müssen (z. B. Olivetti SMP mit auswechselbarer Programmtrommel für 55 Druckstellen und etwa 10 Funktionen).

9.3.2.2 *Steckbare Schaltelemente und Stecktafeln*

Das elektrische Gegenstück zur Steuerbrücke ist in gewissem Sinn das Schrittschaltwerk oder der Zähler, der bei jedem Operationsschritt um einen Zählschritt weiterläuft und mit dem nächsten Schaltkontakt eine vorbestimmte Operation einschaltet. Meistens ist dieses Schrittschaltwerk eingebaut und verknüpft mit einer Stecktafel, an der die Schaltschritte in Buchsen abzugreifen und auf die gewünschten Anschlüsse zu schalten sind.

Prototyp der Stecktafel ist der Stöpselschrank der Fernsprechvermittlungstechnik (Abb. 62/9.3). Die erste Stecktafel in Rechenmaschinen wurde wohl von Tauschek in seiner Lochkartenmaschine (1929) (siehe Abb. 20/2.3) eingebaut, etwa um die gleiche Zeit auch von der Deutschen Hollerith Maschinen-Gesellschaft für die Tabelliermaschine D 11 (Abb. 65/9.3) vorgesehen. In den Stecktafeln ist zum Teil bereits eine logische Verzweigung des Programms durch die dort vorgesehenen „Steuerapparate" möglich; vielteilige Stecktafeln (Abb. 64/9.3) boten sehr beachtliche Programmierungsmöglichkeiten — innerhalb der Grenzen, die durch die Anzahl der Maschinengänge gesteckt waren — und erlaubten doch schnellen Wechsel der Arbeitsabläufe durch einfaches Austauschen der vorbereiteten und aufbewahrten Schaltplatten. Wesentlich einfacher und übersichtlicher, aber auch weniger Möglichkeiten bietend, ist die Programmstecktafel in Gestalt eines Kreuzschienen-Verteilers (Abb. 66/9.3); sie kann auch als Steckertafel, als Steckerplatte mit aufgedruckter bzw. geätzter Schaltung oder auch als Lochkarte (Abb. 67—69/9.3) ausgebildet sein. Mit jedem Schritt des Zähl- und Schaltwerkes wird eine nächste Zeile des Gitters von Schaltlinien impulsiert, und je nach der Spaltenlage des Steckers oder Lochs wird die zugeordnete Operation eingeschaltet.

Ein gewisser Ansatz zur Stecktafel war auch die mechanische Ausführung der „Leitkammer" (Abb. 63/9.3) bei Lochkartenmaschinen des Powers-Systems; sie war zum Zeitpunkt ihrer Entwicklung vermutlich zuverlässiger als elektrische Kontaktgabe, aber nicht erweiterungsfähig, und wurde daher schließlich aufgegeben.

9.3.2.3 *Verkörperung von Festprogrammen durch Verdrahtung von Schaltelementen*

Die Impulsierung von konstantbleibenden Programm-Befehlsfolgen kann auch durch variable induktive, nicht galvanische Verkopplung der Schaltelemente erfolgen, indem ein Schaltdraht durch Ringspulen gefädelt wird, denen die einzelnen Operationen oder Speicherstellen zugeordnet sind. Dieses Verfahren ist bereits bei einem der frühen Rechner, dem Bell-Computer VI (Abb. 71/9.3), angewendet worden, und wird auch in modernen Spezialanlagen, beispielsweise von Telefunken im TRP (Abb. 72/9.3), eingebaut; es verbindet den Vorteil der absoluten Zuverlässigkeit mit dem der schnellen Steuerung und der Änderbarkeit. Im dänischen Rechner GIER (1961) sind große Teile eines ALGOL-Übersetzers auf ähnliche Weise verdrahtet.

9.3.3 *Lochkarten- und Lochstreifen-Programmierung*

Alle Rechenanlagen mit intern gespeichertem Programm erhalten dieses eingegeben über Lochkarten- oder Lochstreifenleser; ersteres im allgemeinen bei den Fabrikaten, die als kaufmännisch ausgerichtete Datenverarbeitungsanlagen aus Lochkartenmaschinen erwachsen sind, letzteres meist nur bei wissenschaftlichen Rechnern.

Die modernen Programmsprachen erlauben, zur Eingabe der wenigen Befehlswörter vorbereitete und u. U. auch vorgestanzte Lochkarten zu verwenden, in die nur noch die variablen Angaben und Begriffe einzulochen sind (Abb. 81/9.3). Lochstreifen werden dagegen meist nur für das Eingeben von in echter Maschinensprache codierten Programmen verwendet.

Zuses erste Rechner Z 3 und Z 4 waren mit Lochstreifen-Eingabe für die linearen Programme ausgerüstet; Z 4 (siehe Abb. 13/5.4.6) hatte immerhin zusätzlich die Möglichkeit, Unterprogramme von auswahlweise anzurufenden Lochstreifen einzulesen, ebenso der Spezialrechner Z 11 (Abb. 79/9.3) und die Buchungsanlage Burroughs B 251 (Abb. 78/9.3).

Reine Lochstreifen-Programmierung war vorgesehen im OMEGA-Rechner der Olympia-Werke, Wilhelmshaven (1961), der zwar entwickelt und ausgestellt, aber nicht hergestellt wurde, und der für ähnliche Anwendungsfälle der Meßgrößen-Auswertung und der Prozeßsteuerung gedacht war wie der mit Magnetbandprogramm gesteuerte Versuchsrechner der Technischen Universität Berlin (siehe Abb. 65/6.3).

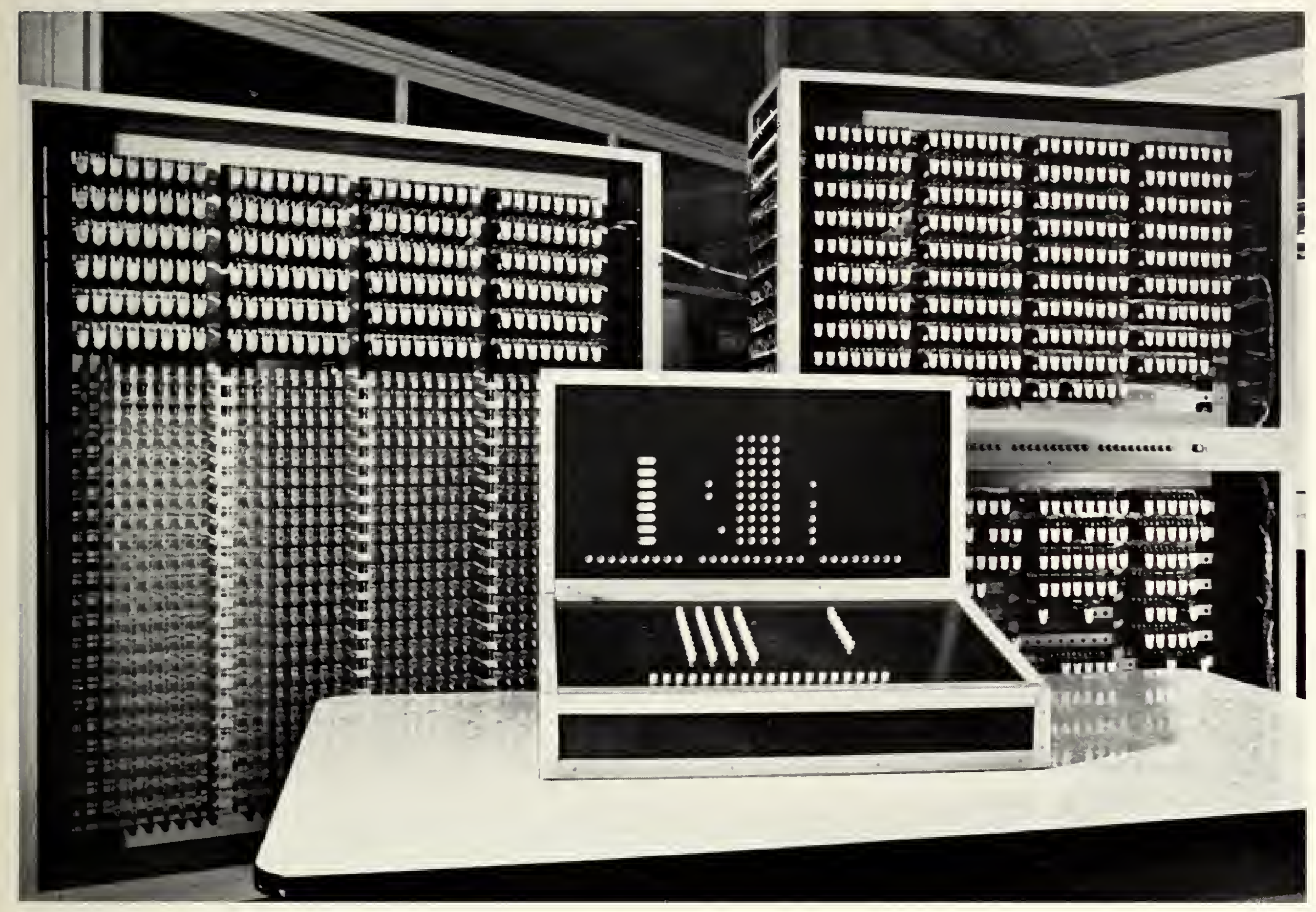


Abb. 57/9.3
Steuerpult-Tastatur des Relaisrechners ZUSE Z 3 (1941)
(siehe Abb. 10/5.4.2).
Die waagrechte Volltastatur für 4 Dezimalen diente zur Eingabe der Zahlenwerte; darunter die Kommaeinstellung.



Abb. 58/9.3
Steuerpult der UNIVAC FAC-TRONIC I

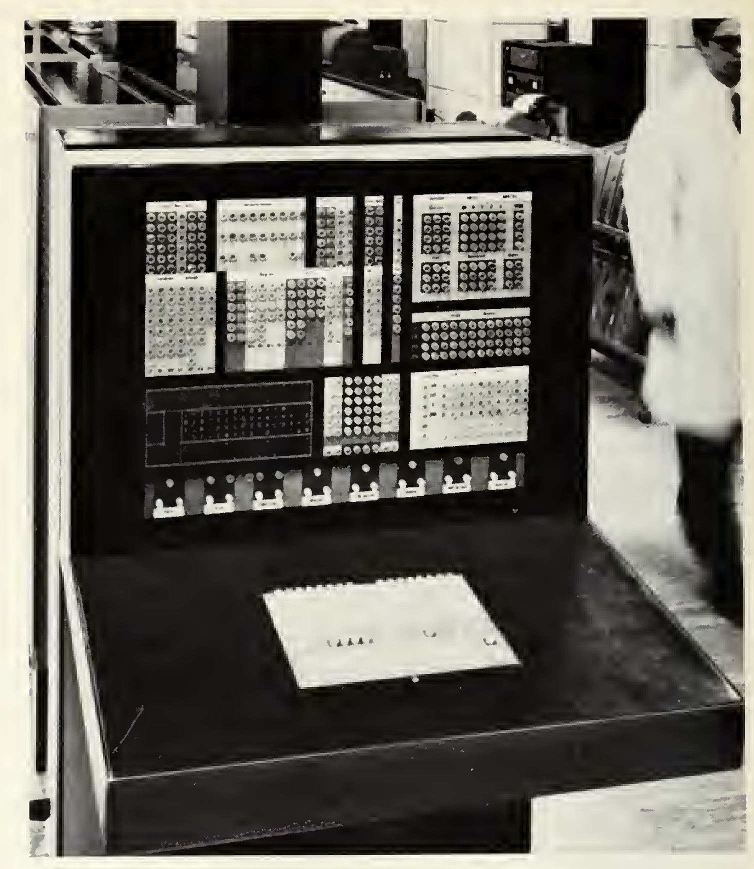


Abb. 59/9.3
Steuerpult mit Tastenfeld der Rechenanlage Olivetti ELEA 9003

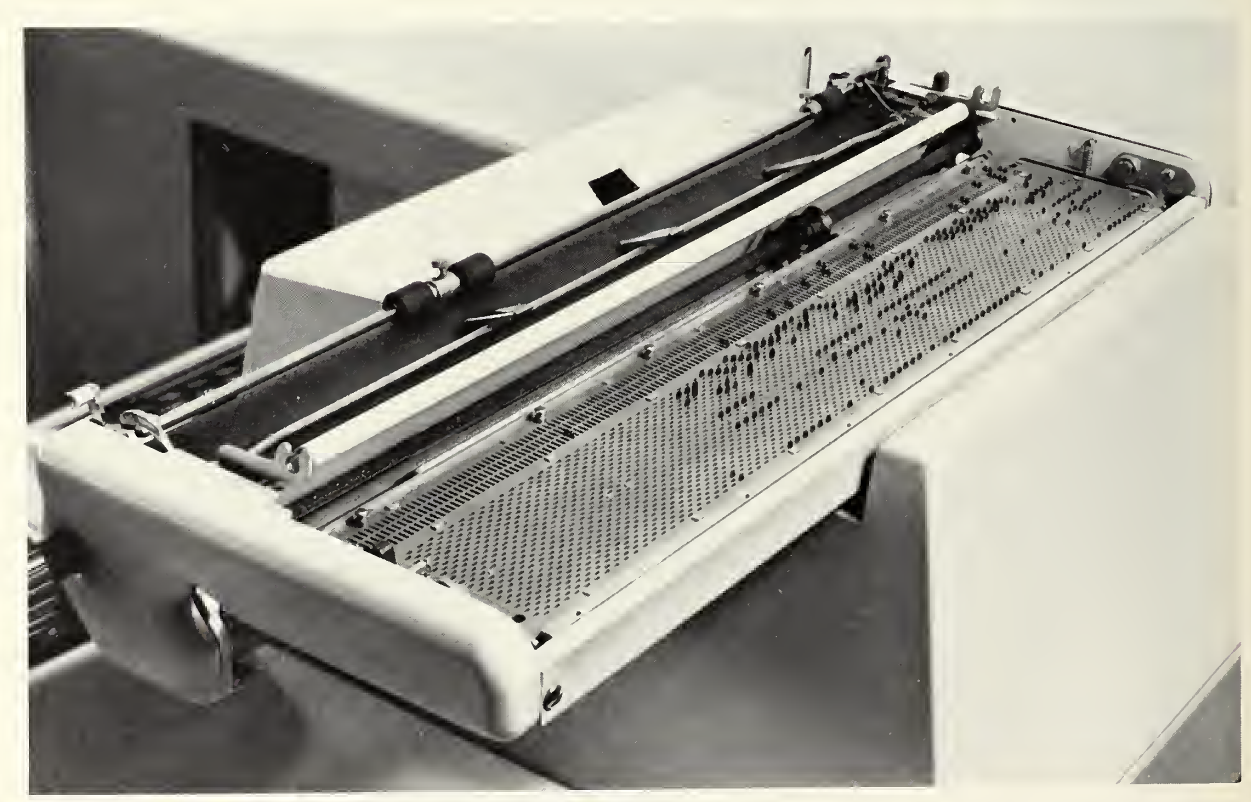


Abb. 60/9.3
Steuerbrücke am Schreibwagen einer Ausgabe-Schreibmaschine SIEMAG

Steuerbrücken mit steckbaren mechanischen Reitern zur Auswahl von Maschinenfunktionen abhängig von der Schreibstelle finden sich bei lochstreifen-erstellenden Schreibmaschinen, um nur bestimmte Daten zur weiteren Verarbeitung in den Datenträger zu übernehmen.

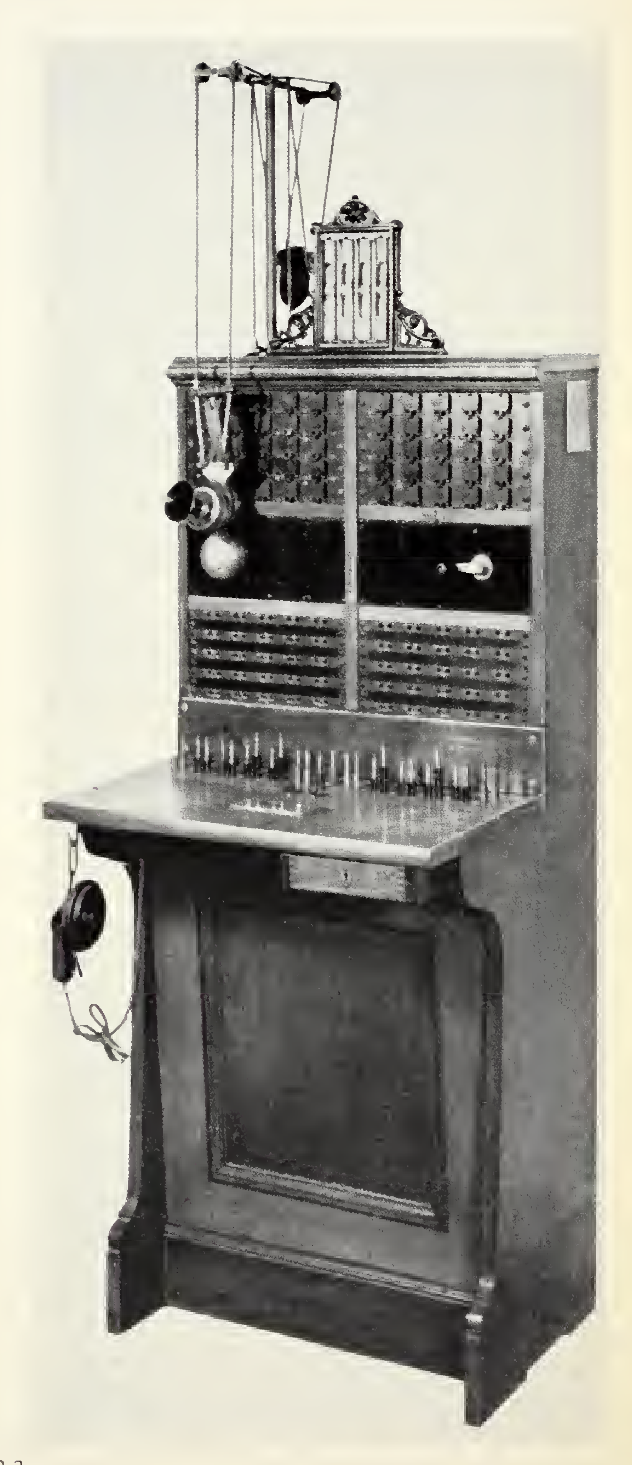




Abb. 61/9.3
Kontakthebel-Leiste zum Abfühlen der in die Steuerbrücke nach Abb. 60/9.3 eingesetzten Reiternocken.

Abb. 62/9.3.
Vermittlungsschrank mit Stöpselschnüren der Fernsprechtechnik als Prototyp der Steckschnur-Schalttafel; in Gebrauch seit 1899. Eine fest eingebaute Stecktafel zur Aufschaltung von Lochkarten-Stellen auf Zähl- und Rechenwerks-Stellen war beispielsweise in Tauscheks Lochkarten-Buchungsmaschine vorgesehen (1930).

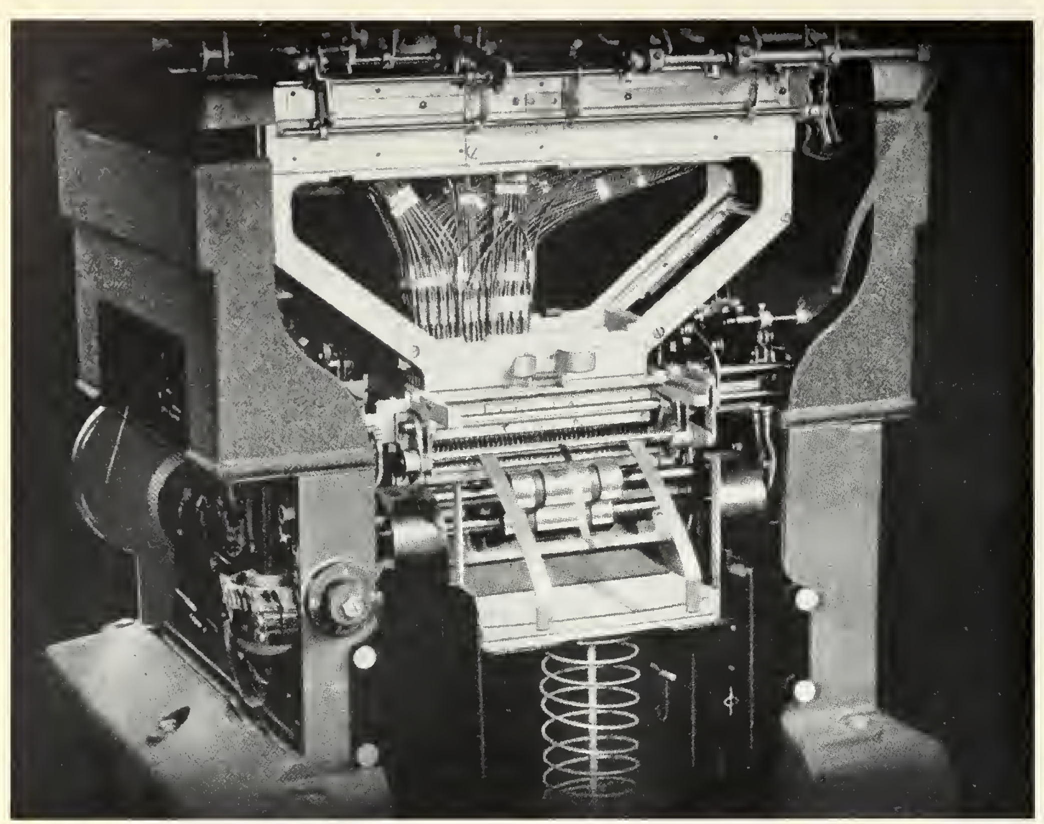


Abb. 63/9.3

Leitkammer in einer Powers-Tabelliermaschine (Remington Rand)

Die Leitkammer ist als Ganzes leicht auswechselbar; die Kabelverbindungen können auch einzeln abgeändert werden. Die Bewegungen der Fühlstifte in der Karten-Lesestation werden über flexible Bowdendrähte auf die Zählwerksstellen übertragen.

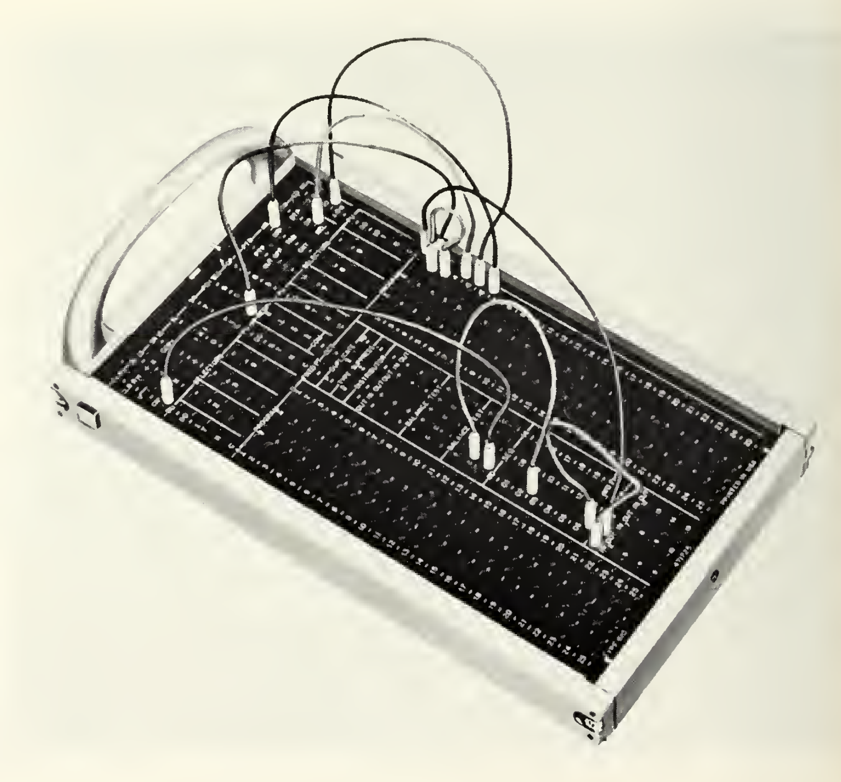


Abb. 64/9.3

Programm-Stecktafel des Kleinrechners IBM 610

Bei Lochkartenmaschinen mit elektromechanischer Arbeitsweise ist die lös- und wechselbare Verbindung zu Ziffernstellen auf Geber- und Empfängerseite durch Steckschnüre in auswechselbaren Stecktafeln üblich. Sie erhalten die gewünschten Verbindungen, sind aber an sich völlig indifferent; erst beim Einstecken der Tafel in die Aufnahme an der Maschine legen sich die Steckerstifte an die ortsfesten Kontaktfedern an und schließen so die vorgesehenen Impulswege. Stecktafeln erlauben schnelles Wechseln begrenzter Arbeitsabläufe.

Schaltvorlage D11 mit Multiplikation 819071

Abb. 65/9.3
Schaltvorlage für die Stecktafel der Tabelliermaschine D 11 der Deutschen Hollerith Masch.-Ges. (siehe auch Abb. 16/2.3).

Abb. 66/9.3
Programm-Steckplatten der Klein-Rechenanlage Burroughs E 101. Die 8 in Kreuzschienen-Verteiler-Art ausgebildeten Steckplatten werden nach vorgezeichneten Papiervorlagen gesteckt und bei Bedarf in die Kontaktplatten der Maschine eingesteckt.

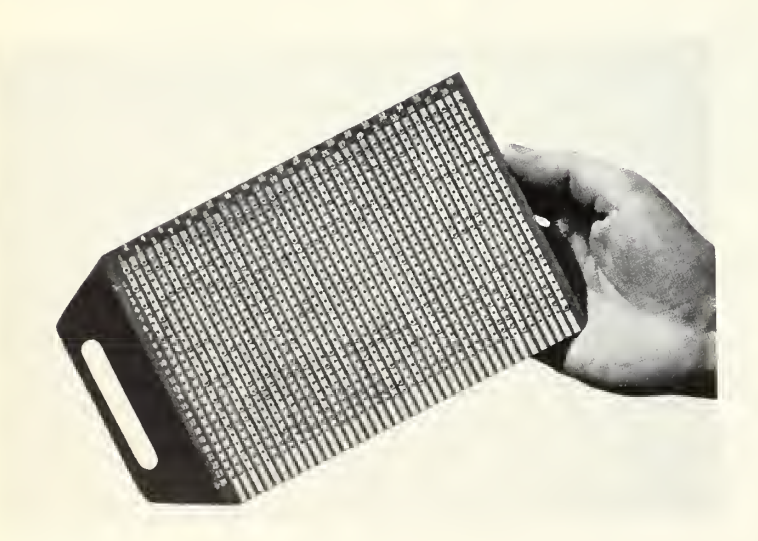


Abb. 67/9.3
Stecktafel als Programmspeicher beim Powers-Samas PCC (siehe auch Abb. 33/2.5).
Vier solcher Kreuzschienen-Verteiler konnten zusammen 160 Befehle speichern.

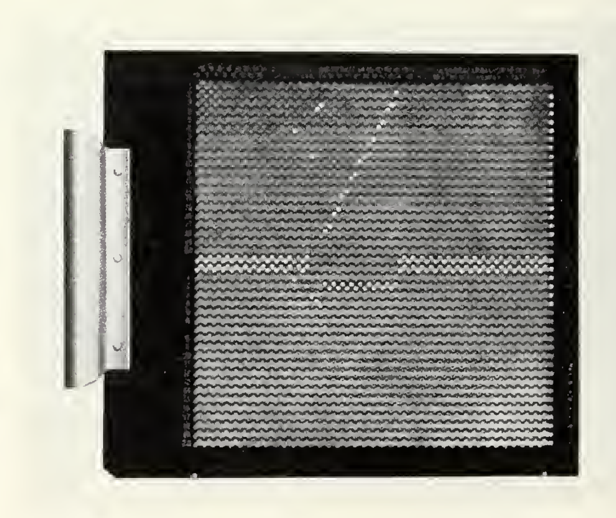


Abb. 68/9.3
Kreuzschienen-Stecktafel des Powers-Samas PCC (siehe Abb. 33/2.5) zum Zuordnen der Ziffernstellen bzw. Kartenspalten auf die Zählwerksstellen.

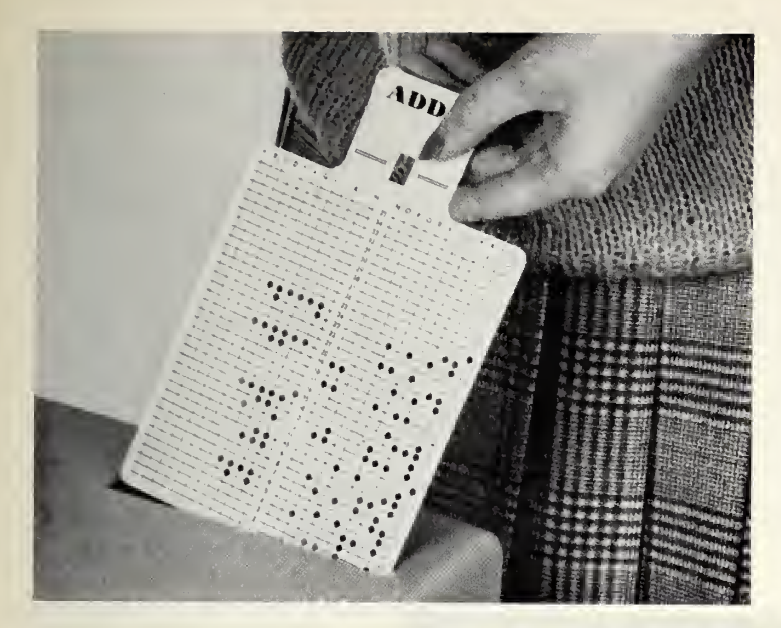


Abb. 69/9.3
Programm-Lochkarte für 35 Programmschritte des programmierbaren Streifenlochers ADDO.

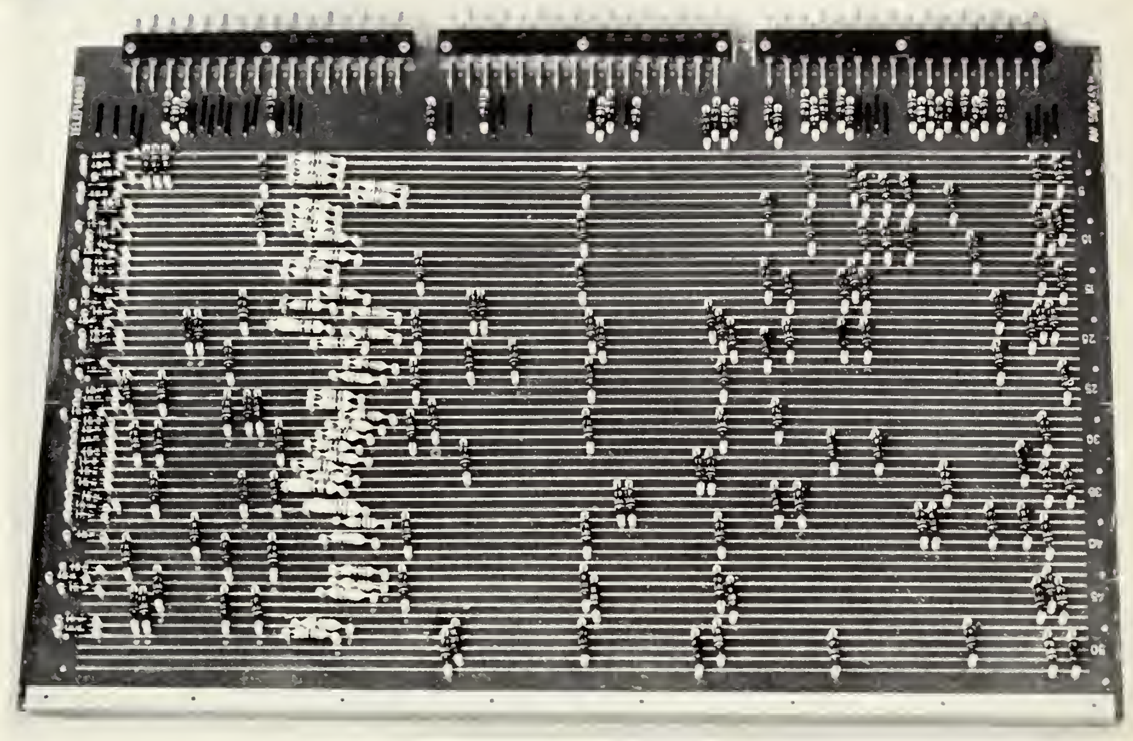


Abb. 70/9.3
Mikroprogramm-Steckkarte als Dioden-verkoppelter Kreuzschienen-Verteiler (Telefunken AG).

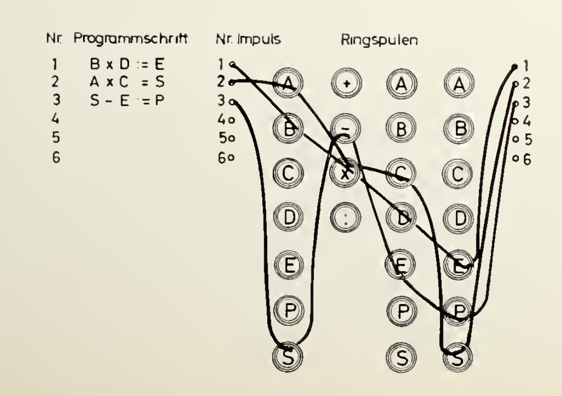


Abb. 71/9.3
Unterprogramm-Verdrahtung beim Bell-Computer VI (siehe auch Abb. 6/5.5.1)
Lose flexible Steckschnüre werden durch die dem jeweiligen Programmschritt entsprechenden Ringspulen gefädelt. Damit konnten 200 Unterprogramme zu je 6 bis 20 Schritten festgelegt werden.

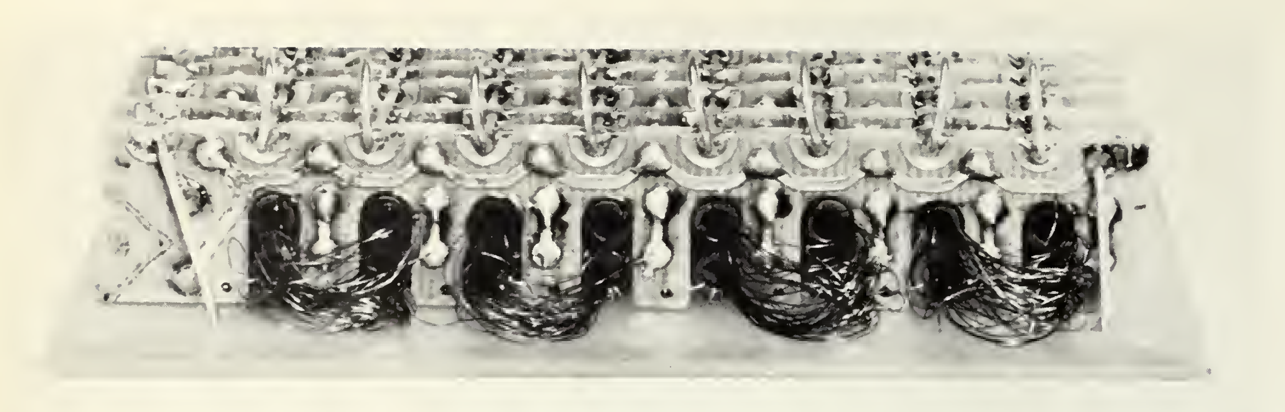
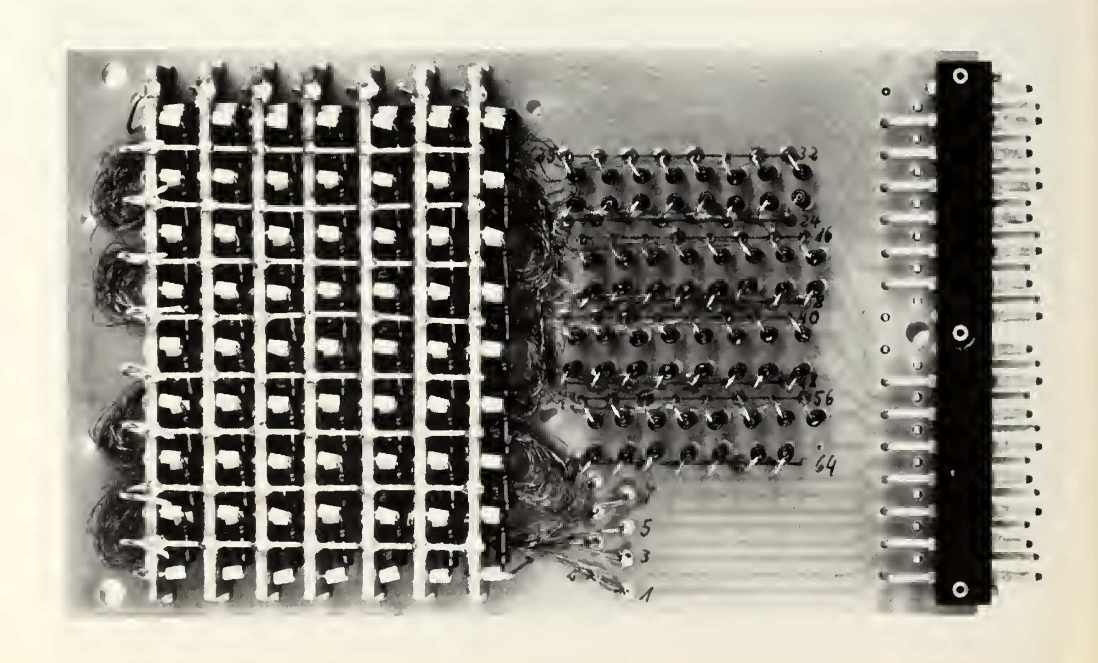


Abb. 72/9.3
Moderne Ausführung eines fest gefädelten steckbaren Programmspeichers für einen Spezialrechner für Buchungsaufgaben, Telefunken TRP: die Ringkerne mit den für jeden einzelnen Programmbefehl entsprechend hindurchgesteckten Schaltdrähten. Eine lochstreifen-gesteuerte Fädelmaschine machte Herstellen einer Programmsteckkarte sicher und einfach.
Die Rechnerfamilie RCA Spectra 70 bzw. Siemens 4004 speichert ebenfalls die Programm-Mikrooperationen in gefädelten Festwertspeichern.

Literatur: Painke, H.: Der Festwertspeicher in digitalen Rechenanlagen. IBM-Nachr. 176, (Febr. 1966), S. 73–79.
Alonso, R. L.: Vintage Machine Produces Memories. electronics, 1. 5. 67, S. 88–98.

Abb. 73/9.3
Festprogrammspeicher nach Abb. 72/9.3, ausgeführt als Steckkarte, enthaltend 56 Speicherstellen mit je 2 Kernen (für 0- und 1-Bit) für 64 Befehlswörter zu je 56 Binärstellen.



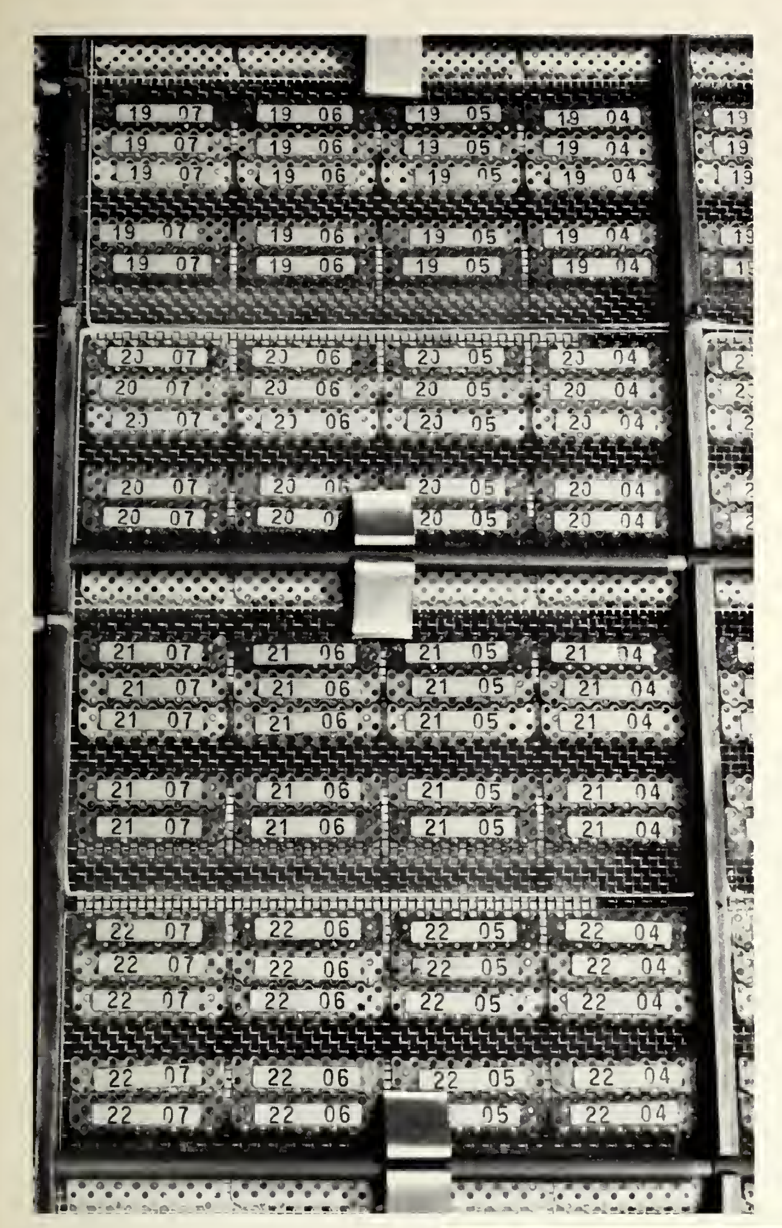


Abb. 74/9.3
Festprogrammspeicher der ATLAS-Rechenanlage (Ferranti)
Die zu einem Maschengitter verwebten Drähte der Speichermatrix werden durch Ferrit-Stöpselkerne magnetisch verkoppelt; die Ferritkerne sind zu je 17 Paaren in einem Plastik-Käfig gehalten. Der Speicher faßt 4036 Wörter mit einer Zugriffszeit von 0,2 µs. Die ATLAS-Rechenanlage – eine der größten und schnellsten – ist seit 1961 in Manchester in Betrieb.

Abb. 75/9.3
Logikplatte des Kleinrechners Librascope LGP 30 (Schoppe & Faeser) (siehe auch Abb. 40/6.1 bzw. 9/7.3).

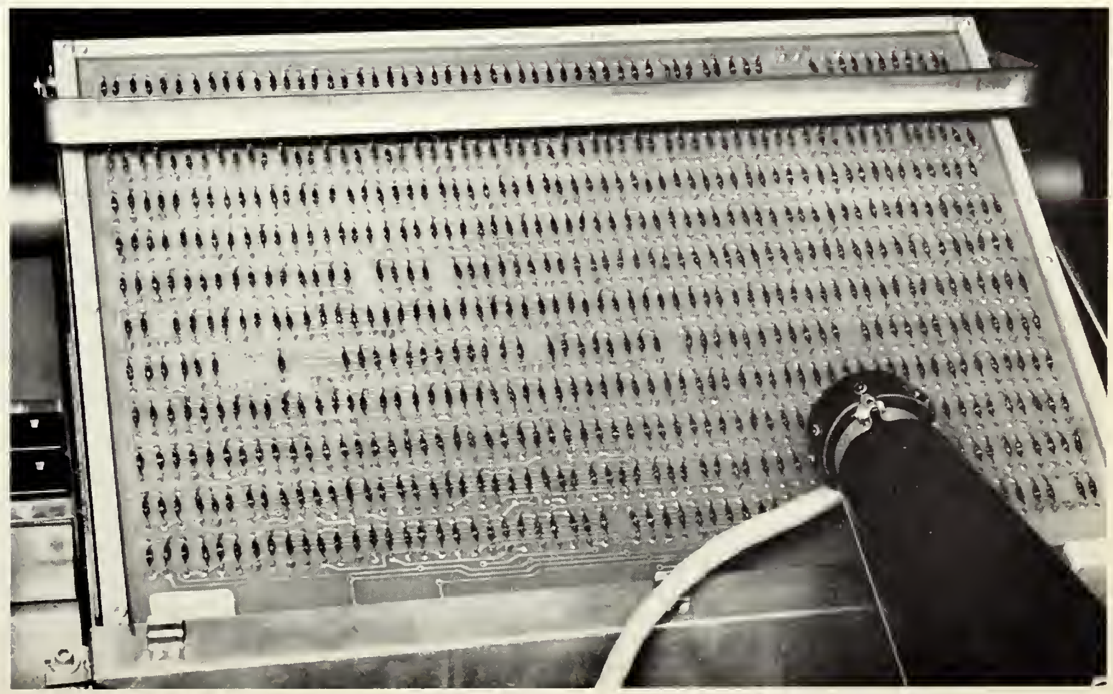


Abb. 76/9.3
Alphanumerischer Locher für Programmstreifen beim ORACLE-Computer des Oak Ridge Nat. Lab. (siehe auch Abb. 28/6.1) (Foto ORNL)



Abb. 77/9.3
Die Entwicklung eines Programms von der mathematischen Formel über Flußdiagramm, Programmliste zu Lochstreifen und Magnetdraht in der Kassette.



Abb. 78/9.3
Programmsteuerung durch 6 bis 12 Lochbänder aus Mylar beim Burroughs B 251 „Visible Record Computer" (elektronische Buchungsanlage für Magnetkontokarten).
Jedes Lochband-Unterprogramm kann bis zu 2500 Schritte aufnehmen; es wird bedarfsweise aufgerufen und lichtelektrisch abgetastet.



Abb. 79/9.3
Lochstreifen-Programmierung der ZUSE Z 11 (siehe auch Abb. 21–23/5.4.6)
Vier Unterprogramme sind als kurze Endlos-Schleifen in den Streifenlesern eingespannt.



Abb. 80/9.3
Programmerstellung mittels „Planwerk"-Tastatur beim Mark III (siehe Abb. 12/6.1)
Alle Befehle werden in Codeform direkt auf das Magnetband eingeschrieben.

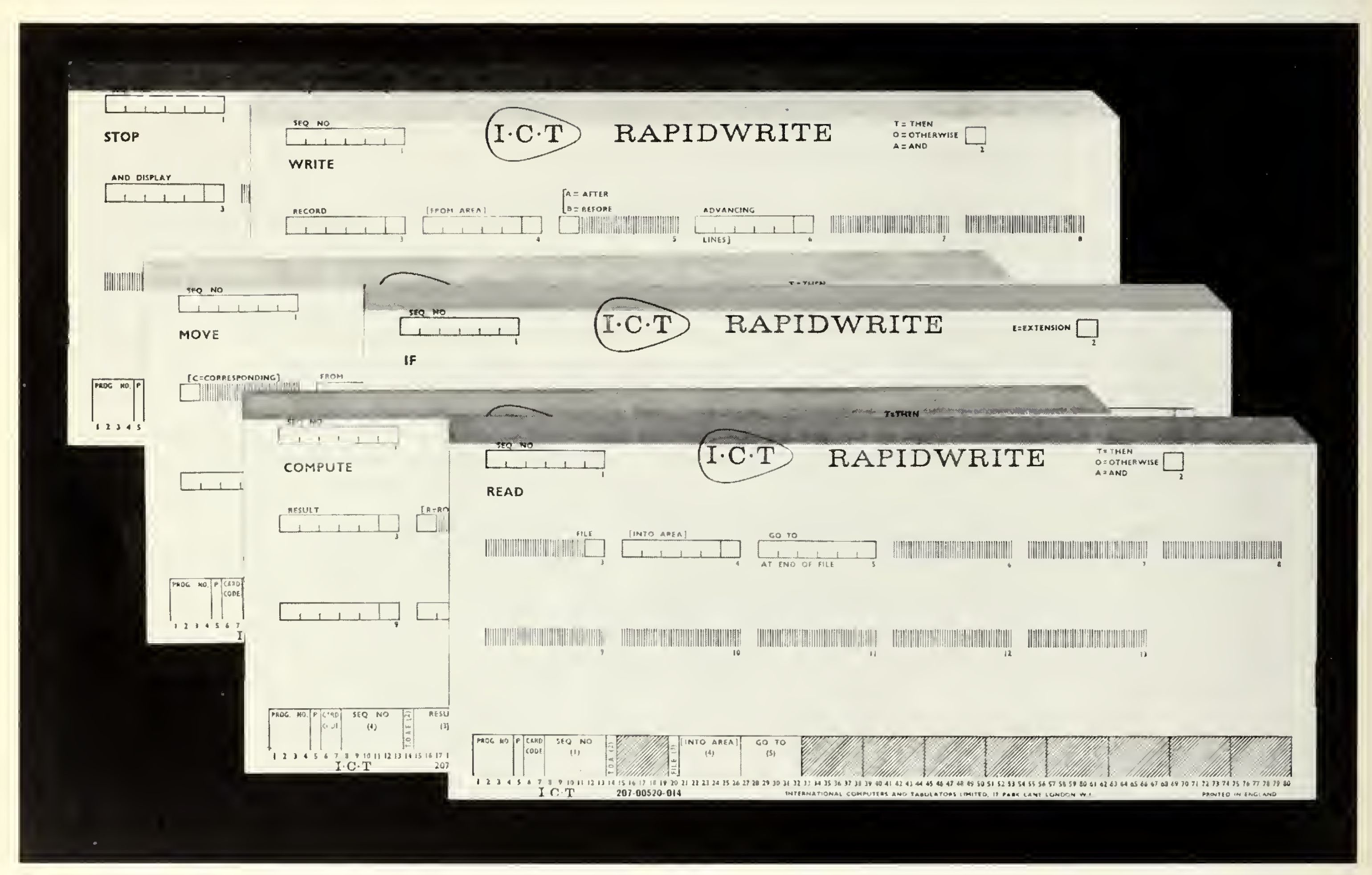


Abb. 81/9.3
Programmierung mittels vorbereiteter Lochkarten
Die Lochkarten werden ergänzt und in dem Programmablauf entsprechender Reihenfolge zusammengestellt; die Rechenanlage arbeitet danach mittels eines vorher eingegebenen Umrechnungsprogramms das Maschinenprogramm im einzelnen aus.

Verzeichnis der Rechenmaschinen und Rechenanlagen
(Fette Seitenzahlen kennzeichnen Abbildungen)

Verzeichnis der Erfinder, Erbauer und Autoren

(Autoren sind kursiv gedruckt, Portraits auf fettgedruckten Seiten)

Verzeichnis der Bauelemente, Baugruppen und Periphergeräte

(Fettgedruckte Seitenzahlen kennzeichnen Abbildungen)

Verzeichnis der Hersteller-Firmen und Entwicklungs-Institute

Kursiv gedruckte Firmen sind erloschen oder in anderen aufgegangen, fett gedruckte Seiten kennzeichnen Abbildungen.

Nachweis der Quellen zu den Abbildungen

Die Originalvorlagen zu den Abbildungen dieses Buches wurden in der Mehrzahl seit vielen Jahren von den betreffenden Lieferfirmen bzw. Entwicklungsinstituten freundlicherweise dem Verfasser bzw. Herrn Prof. Dr. A. Walther vom Institut für Praktische Mathematik der Technischen Hochschule Darmstadt zu Lehrzwecken und zur Veröffentlichung zur Verfügung gestellt oder auch teilweise Firmendruckschriften und Werbeblättern entnommen.

Einige vor allem historische Bildvorlagen wurden seitens der nachfolgend angeführten Archive und Museen beigesteuert, wofür besonderer Dank ausgesprochen sei.

Archiv Kurt Passow, Bonn (22/2.3.);
Atelier Herbert Rost, Darmstadt (Seite 109);
Blätter für Technikgeschichte, Wien (21 u. 22/1.2.);
Brunsviga-Museum, Braunschweig (4, 5 u. 6/1.1., 11, 12, 15, 27 u. 28/1.2.);
Deutsches Museum, München (23, 25 u. 31/1.2., 2 u. 4/2.1., 7/2.2.);
Hessische Landesbibliothek, Darmstadt (26/1.2.);
Landesbildstelle Württemberg, Stuttgart (7 u. 24/1.2.);
Science Museum, London (44, 45, 46 u. 48/1.3.) "British Crown Copyright";
Siemens Archiv und Museum, München (2, 5, 6 u. 7/3.1.).

Anderen Veröffentlichungen wurden entnommen:

Creed News 50/1962 (1, 3, 4 und 11/3.1.);
Galle, A.: Mathematische Instrumente, Verlag B. G. Teubner 1912 (47/1.3.);
Computer Digest, American Data Processing Inc., Detroit, Mai 1967 (Seite 110);
Morrison, Ph. u. E.: Charles Babbage and his Calculating Machines, Dover Publ. Inc. New York 1962 (Seite 109);
Neher, E.: Elektrische Schnelltelegraphie, Springer Verlag 1920 (84/8.3.5.1.);
Mobil Industrie Revue, 1962 (1/1.2.).

Berichtigungen und Ergänzungen

Seite 6, Zeile 11 von oben rechts:
statt 400 000 besser 4 000 000
Seite 14, Zeile 15 links:
statt Abb. 4 u. 5/9.3. besser Abb. 60 u. 61/9.3.
Seite 14, Zeile 32 rechts:
statt LOCIT–1 besser LOCI
Seite 35 Überschrift 2.1. muß lauten:
Lochkarten zur Steuerung automatischer Abläufe
Seite 38, Zeile 10 von unten links:
statt Schleifenbürsten besser Schleifbürsten
Seite 108 links unten muß es heißen:
. . . sorgfältiges Planen des zweckmäßigen Einsatzes ist wie kritisches Prüfen der Maschinen Vorbedingung für die erstrebte Wirtschaftlichkeit.
Seite 111: John Presper Eckert statt Prosper
Seite 146: Von Dr. W. Sprick und dem ersten Röhrenrechner angeregt, baute Heinz Nixdorf 1951–52 ein ähnliches Rechenwerk zu einer Powers-Lochkartenmaschine Tab. 2 und anschließend ab 1952 eine längere Serie für BULL-Exakta; hieraus erwuchs die Produktion von Rechnern für Buchungs- und Magnetkartenmaschinen, mit denen die Fa. Nixdorf/Paderborn heute rd. 2/3 Marktanteil besitzt.
Seite 153, Abb. 67/6.3.:
statt s. Abb. 36/3.5.2. besser Abb. 102/8.3.5.2.
Seite 157 nachtragen:
Literatur: P. J. van Donselaar jr: De Ontwikkeling van elektronische Rekenmachines in Nederland. Amsterdam 1967, Stichting Nederlands Studiecentrum.
Seite 165, Abb. 85/6.5.:
statt s. Abb. 34/8.3.5.2. besser s. Abb. 100/8.3.5.2.
Seite 169, Zeile 1:
statt Uechen- besser Rechen-Anlagen
Seite 229, Abb. 75/8.3.3.2.:
statt s. Abb 6/6.2. u. 8/6.2. besser s. Abb. 53 u. 55/6.2.
Seite 233, zweitletzte Zeile:
statt Electronica X–1, besser Electrologica X–1
Seite 234, Abb. 84/8.3.5.1.:
statt . . . Neher, Elektrische . . . besser Nesper, Radio-Schnell-Telegraphie, Springer-Verlag 1922.
Seite 239, Abb. 93/8.3.5.2.:
statt Tauscheck besser Tauschek
Seite 242, Abb. 96/8.3.5.2.:
statt s. Abb. 2/6.2. besser s. Abb. 49/6.2.
Seite 243, Abb. 100/8.3.5.2.:
statt s. Abb. 1–2/6.5. besser s. Abb. 84–85/6.5.
statt siehe hierzu Abb. 1/6.4. besser Abb. 72/6.4.
Seite 244, Abb. 103/8.3.5.2.:
statt s. Abb. 3/6.2. besser s. Abb. 50/6.2.
Abb. 104/8.3.5.2.:
statt s. Abb. 6/6.3. besser s. Abb. 62/6.3.
Abb. 102/8.3.5.2.:
statt s. Abb. 11/6.3. besser Abb. 67/6.3.
Seite 248, Abb. 114/8.3.5.2.:
zeigt nicht den Magnetscheibenspeicher „Flexodisc", sondern das Modell IBM 1411.
Seite 249: Der Magnetplattenspeicher 4000–2 ist nicht abgebildet.
Seite 250, Zeile 13 v. u. rechts:
statt B 825 besser D 825
Seite 278, Abb. 42/9.2.4.3.
Das obere Druckmuster stammt von einem Kettendrucker (Doppelkonturen der Senkrechten durch Hammer-Prellen)
Seite 282:
Die Rückvergrößerung eines SC-4400-Mikrofilms ist nicht abgebildet.







Das schnelle Fortschreiten der Technik und das oftmals bedauerlich geringe Geschichtsbewußtsein der Entwicklungsstellen — manche später historisch wertvollen Prototypen wurden verschrottet, ohne daß auch nur ein Bild davon nachweisbar blieb —, vor allem aber die vielfach voreiligen und widersprüchlichen Zeitangaben in der Literatur über neue Geräte machen es fast unmöglich, eine eindeutige Entwicklungsfolge aufzuzeigen. Wichtiger erschien es, die innere Konstruktion und die Wirkungsweise der Maschinen darzustellen; die äußere Gestaltung konnte demgegenüber als modisch bedingte Aufmachung zurücktreten.

Der Verfasser arbeitet seit dreißig Jahren für die Entwicklung und Anwendung von Rechenanlagen, kennt den historischen Ablauf in Deutschland von Anfang an aus eigener Erfahrung und vermochte daher bisher nicht veröffentlichte Einzelheiten anzuführen sowie die mit Sorgfalt aus Instituts-, Museums- und Firmenarchiven ausgewählten Abbildungsvorlagen aus eigenen Beständen zu ergänzen.

Das Buch, das erstmals den weltweiten Entwicklungsgang der digitalen Rechentechnik zusammenfassend auch im Bilde vorstellt, dürfte daher nicht nur den dafür aufgeschlossenen Laien interessieren, sondern auch dem Fachmann manche Anregungen und Hinweise über Konstruktions-Zusammenhänge und -Gedankengänge vermitteln. Die reichhaltigen Literaturhinweise, die Zusammenstellungen und Register bieten auch speziellen Unterrichtungswünschen nützliche Hilfe. Darüber hinaus macht die sorgfältige Ausstattung den Bildband zu einem wertvollen Präsent.

Nur aus der Kenntnis der Wurzeln heutigen Geschehens heraus wird die Menschheit künftige Entwicklungen richtig zu lenken und zu nutzen verstehen. Der vorliegende Bildband möchte das Verständnis für die Entwicklung der Rechentechnik vertiefen helfen — kommt ihr in Zukunft als wichtiges *Werkzeug geistigen Handelns* doch stetig wachsende Bedeutung zu.

Der Verfasser dieser Entwicklungsgeschichte der Rechentechnik, *Wilfried de Beauclair,* wurde, aus einer seit Generationen in Darmstadt ansässigen Familie stammend, am 4. April 1912 in Ascona (Schweiz) geboren. Sein Studium an der Technischen Hochschule Darmstadt galt ursprünglich zwar dem allgemeinen Maschinenbau, doch arbeitete er schon bald als Hilfsassistent (ab 1931) und später als wissenschaftlicher Mitarbeiter (ab 1939) bei Prof. Dr. *Alwin Walther,* dem Vorkämpfer der Praktischen Mathematik und der Rechentechnik, an der Entwicklung von mathematischen Geräten, von mechanischen Integrieranlagen und Fouriersynthesatoren; er dürfte daher einer der ältesten und erfahrensten Zeugen der deutschen Entwicklungen sein. Nach seiner Promotion im Jahre 1945 folgten einige Jahre Zwangspause infolge Gefangenschaft und Lazarettzeit; anschließend arbeitete er meist freiberuflich an der Programmierung der ersten Lochkartenrechner, an der Anwendung mathematischer Methoden für die statistische Qualitätskontrolle und die Unternehmungsforschung und an der Konstruktion mechanischer Rechenmaschinen. Seit 1956 ist er erst als Entwicklungsingenieur und Laborleiter für Peripheriegeräte zu Elektronenrechnern, dann als Referent für die Programmierung von EDV-Anlagen für spezielle Buchungsaufgaben und für Mikrofilmfragen tätig. Neben seiner als Buch erschienenen Promotionsschrift über mehrdimensionale Fouriersynthese veröffentlichte er bisher rund 125 wissenschaftliche Beiträge; er ist ständiger Mitarbeiter bei mehreren Fachzeitschriften und liest auf Grund eines Lehrauftrages an der Technischen Hochschule Darmstadt über die Praxis der Datenverarbeitung.



deBeauclair